

24. 91



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

**FACULTAD DE INGENIERIA
MECANICA Y ELECTRICA**

TEORIA Y PRACTICA SOBRE LA FABRICACION
DE ENVASES DE ACERO Y ALUMINIO

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL
P R E S E N T A :
SERGIO A. PEREZ RIOS

MEXICO, D. F.

1988



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

Ref.	Págs.
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.	
METODOS DE FABRICACION DE ENVASES.....	7
1.1 LATAS DE 3 PIEZAS.....	11
1.2 LATAS DE 2 PIEZAS.....	14
1.2.1. METODO DRD.....	20
1.2.2. METODO DGI.....	20
1.3 CARACTERISTICAS DE FORMADO EN EL PROCESO DE FABRICA- CACION DE LATAS DE 2 PIEZAS.....	30
1.3.1 PLANCHADO DE LA PARED.....	30
1.3.2 REBORADO HACIA ADETRON Y ENFALDILLADO.....	31
1.4 INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE LA HOJALATA EN EL PROCESO DE FABRICACION DE LATAS POR EL METODO DE - EMBTIDO Y PLANCHADO.....	33
1.4.1 EFECTO DEL PESO DEL RECURRIMIENTO.....	34
1.4.2 EFECTO DEL TEMPLE Y RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE.....	37
1.4.3 EFECTO DE LAS OPERACIONES DE FORMADO.....	37
1.5 EVOLUCION DE LAS LATAS.....	39
1.6 LATAS PROYECTADAS.....	47
CAPITULO II HOJALATA.....	
2.1 ASPECTOS GENERALES.....	50
2.2 ASPECTOS METALURGICOS.....	51
2.2.1 ADERO BASE.....	51
2.2.2 CAPA DE ALEACION FIERRO-ESTANO.....	53
2.2.3 CAPA DE ESTANO.....	54
2.2.4 CAPA DE OXIDO DE ESTANO.....	56
2.2.5 PELICULA DE ACEITE.....	56

	págs.
2.3	TIPOS DE ACERO BASE PARA HOJALATA..... 58
2.4	HOJALATA ELECTROLITICA..... 60
2.5	PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA HOJALATA..... 65
2.6	PARAMETROS DE CALIDAD DE LA HOJALATA..... 68
2.7	ATRIBUTOS DE CALIDAD DE LA HOJALATA EN FUNCION DE SU USO FINAL..... 76
2.8	CORROSION EXTERNA..... 76
2.9	CORROSION INTERNA..... 78
2.10	RECUBRIMIENTOS USADOS EN LA HOJALATA..... 81
2.11	PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO BASE..... 85
2.12	TRATAMIENTOS TERMICOS DEL ACERO BASE..... 86
	CAPITULO III ALUMINIO..... 90
3.1	PROPIEDADES FISICAS..... 90
3.2	PROPIEDADES MECANICAS..... 91
3.3	PROPIEDADES QUIMICAS..... 103
3.4	ALEACIONES DE ALUMINIO..... 105
3.5	NORMA PARA LA DESIGNACION DE LAS ALEACIONES..... 107
3.6	ALEACIONES PRINCIPALES Y SUS CARACTERISTICAS.....
3.7	TIPOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS QUE SE APLICAN A - LAS ALEACIONES DE ALUMINIO..... 120
3.8	EL ALUMINIO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA..... 123
3.9	ALEACIONES COMUNMENTE USADAS UTILIZADAS EN LA FA/ BRICACION DE ENVASES Y SUS CARACTERISTICAS..... 126
	CAPITULO IV TIN FREE STEEL..... 131
4.1	PROCESO PARA LA OBTENCION DE TFS..... 134
	CAPITULO V.
	TEORIA DEL EMBUTIDO..... 140
5.1	PROCESO DE EMBUTIDO Y DESCRIPCION DE UNA ESTAMPA PARA EMBUTIR..... 140
5.2	DESCRIPCION DE UNA ESTAMPA..... 145

	págs.	
5.3	ESFUERZO EN LA SECCION DEL RECIPIENTE Y PRESION NECESARIA DE EMBUTIDO.....	146
5.4	TAMAÑO DEL COSPEL DE UN ELEMENTO EMBUTIDO.....	151
5.5	PRESION EJERCIDA POR EL PISADOR.....	159
5.6	RELACIONES DE EMBUTIDO PARA OBJETOS CILINDRICOS....	159
5.7	EMBUTIDO PROFUNDO EN UNA SOLA ETAPA.....	163
5.8	PORCENTAJE DE REDUCCION.....	165
5.9	PISADORES.....	166
5.10	EMBUTIDO PROFUNDO EN VARIAS ETAPAS.....	170
5.11	HERRAMIENTAS.....	175
5.12	FIGURAS AHUSADAS Y CON FORMA DE DOMO.....	176
5.13	PRESIONES Y VELOCIDADES DEL EMBUTIDO.....	177
5.14	DEFECTOS.....	179
5.15	APLICACIONES ESPECIALES.....	184
5.16	LUBRICANTES.....	185
	CONCLUSIONES.....	188
	BIBLIOGRAFIA.....	186

INTRODUCCION

Debido a la carencia de información que existe en nuestro país - relación a la tecnología para la fabricación de latas en general, - se pretende por medio del presente trabajo aportar un conocimiento más - amplio de las condiciones actuales de esta industria, y con base en es- - to, tratar de encontrar la mejor forma de poder aplicar la tecnología - más adecuada y actualizada, de tal forma que sea acorde con las necesida - des del país, y considerar la posibilidad de desarrollar localmente.

En el presente estudio, se pretende dar a conocer una idea más - clara de los diferentes métodos de fabricación que existen en la indus- - tria de la latería, así como las diversas ventajas ó desventajas que sug - len tener y la subsecuente repercusión que se pueda presentar en el - mercado, tanto nacional como mundial.

Se tocarán una serie de temas que están basados en estudios teó - ricos y empíricos realizados en varios países, que desde hace varios - años se han disputado la supremacía en esta rama de la industria, tales - como son: Inglaterra, Alemania y Estados Unidos.

La parte técnica de este estudio es con el propósito de conocer - los diferentes parámetros que intervienen en el proceso de fabricación - de una lata y poder en determinado momento, modificarlos para lograr me - joras/ en cuanto a mayor eficiencia, presentación, velocidad en su pro - ducción, etc., se refiere.

El tema del embutido profundo se estudiará con más énfasis, de - do que actualmente está considerado como uno de los más eficaces, debido - a las altas velocidades de producción y buenos resultados obtenidos -

con su uso; lo que ha traído consigo un estudio más a fondo de los diferentes materiales utilizados para la fabricación de envases.

Se han realizado estudios verdaderamente exhaustivos de tales materiales y sus recubrimientos, ya que para la aplicación del método de fabricación de dos piezas, que se describirá posteriormente, donde se utiliza el proceso del embutido profundo, ha sido necesario tener bien definidas las características de dichos materiales con el fin de poder controlar las diferentes variables que intervienen en el momento de su producción.

Entre los principales materiales que se utilizan en la fabricación de envases metálicos están: el aluminio, la hojalata, Tin Free Steel y lámina negra. Los dos primeros se han utilizado por más tiempo en esta industria, por lo cual se cuenta actualmente con un mejor conocimiento de sus propiedades. Por lo que respecta al Tin Free Steel, su uso ha sido más reciente, pero parece ser que resultará apropiado y con algunas ventajas sobre los anteriores para la fabricación de determinado tipo de envases.

Uno de los objetivos principales del presente trabajo, es el estudio de los diferentes métodos que existen actualmente para la fabricación de latas, de tal forma que se pueda tener un criterio para seleccionar el que se considere más apropiado según las características y condiciones tanto del mercado como de los requerimientos de los productos por envasar.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LOS ENVASES PARA ALIMENTOS.

El envasado de los alimentos ha tenido una trayectoria paralela - con la civilización, sus orígenes más remotos tienen sus raíces en los avances surgidos en la producción y proceso de los alimentos.

En los tiempos del Paleolítico, los alimentos se consumían donde se encontraban y cuando era necesario el hombre utilizaba, recipientes o contenedores naturales, tales como pequeños troncos huecos, piedras huecas, conchas, hojas, cascotes de calabaza y trozos de corteza. Posteriormente aprendió a confeccionar recipientes a partir de materiales naturales. Se dedicaba a vaciar troncos o piedras y utilizaba partes de animales como vejigas, pieles, cuernos, huesos, fibras y palo. El hombre del Neolítico desarrolló los recipientes metálicos y descubrió la cerámica.

Los sumerios conocieron el vidrio, y el fresco pequeño o botella se conoció 1500 años A. de C.

ORIGEN DE LOS MATERIALES PARA ENVASES.

PAPEL.- El papel y el papiro se desarrollaron originalmente como materiales para la escritura y sustituir a la piel de los animales. - El papiro se formaba a partir de tiras aplanadas de la médula central de la caña del papiro. Este fue usado por los antiguos egipcios y los griegos. El primer papel se hizo en China a partir de la corteza de la mora alrededor del año 200 A. de C. Posteriormente se empezó a fabricar en Arabia con los conocimientos de los chinos, más tarde los árabes lo introdujeron en Sicilia y de ahí a Italia y al Sur de Alemania; los moros lo introdujeron en España en el siglo XII, de donde se extendió a Francia, Alemania Occidental, Holanda, Bélgica e Inglaterra.

VIDRIO.-

Por el año 1550 A. de C. la fabricación de vidrio en Egipto era una industria importante, se producían botellas pequeñas y ornamentos - de muchos colores, pero ninguno de color claro. El vidrio claro transparente se descubrió a principios de la Era Cristiana. Posteriormente - los Romanos colaban vidrio para ventanas sobre piedras planas. El vidrio era prácticamente costoso hasta que se mejoraron las técnicas de producción en los siglos XVIII y XIX, lo que trajo como consecuencia que - el precio de las botellas fuera razonable.

HOJALATA.-

Fue alrededor del año 1200 cuando artesanos de Bohemia descubrieron un proceso de inmersión en caliente para recubrir con estaño - hojas delgadas de hierro que habían sido martilladas a mano a partir de - barras. Este secreto se guardó celosamente durante 400 años, pero en - 1620 el Duque de Sajonia ordenó robarlo. La Edad de Hierro trajo nuevos metales y maquinaria para hacer rolado y recubrimiento en forma con - tinua. El acero ha reemplazado al hierro y las aleaciones más fuertes - han hecho posible el uso de calibres más delgadas de metal.

Los cambios en las técnicas de proceso han conducido a la aplica - ción de capas más delgadas de recubrimiento de estaño.

En las últimas décadas se ha logrado la fabricación de láminas sin estaño, foil de acero y aluminio cubierto con aleaciones de acero.

ALUMINIO.-

El aluminio tuvo principio en 1825 cuando Oersted produjo las primeras partículas. El metal era muy difícil de extraer del mineral por lo cual su costo era considerablemente alto. El emperador Napoleón III usaba cubiertos de aluminio para agasajar huéspedes especiales.

En 1886 se descubrió el proceso moderno de electrólisis para la extracción de aluminio de la alúmina y más tarde se encontró otra forma de extraerlo de los minerales de bauxita. Con estos nuevos métodos su precio llegó a ser muy bajo, comparado con el que tenía cuando empezó su producción.

Al mismo tiempo que se redujo el precio considerablemente, el aluminio se le encontraron muchos usos. Sus propiedades permitieron su fácil fabricación; el primer foil de aluminio comercial se roló un poco después de 1910 y durante el principio de la década de los 20's se perfeccionaron las técnicas de rolado e impresión.

CAJAS METALICAS

Con la invención de la hojalata se hizo posible la fabricación de cajas metálicas soldadas. Sin embargo no es sino hasta 1764 cuando los tabacaleros londinenses los empezaron a usar para vender tabaco en polvo. Entre 1850 y 1900 se desarrollaron los procesos de impresión del metal.

LATAS METALICAS

Las latas cilíndricas de hojalata se empezaron a producir en 1810. Las primeras latas eran soldadas a mano, dejando un agujero en-

la tapa de 36 cm. aproximadamente. Después de que el alimento se introducía por el agujero, éste se tapaba soldando un parche. Algunas veces se hacían pequeñas perforaciones para permitir que el aire - escapara durante el cocimiento y después se cerraba con una ggta de soldadura. En 1868 se empezaron a usar esmaltes interiores para detener la corrosión o decoloración de los alimentos.

En 1900 existían máquinas para producir hasta 2500 latas - por hora.

CAPITULO I
MÉTODOS DE FABRICACION DE ENVASES

En la actualidad, el progreso en la fabricación de envases es — acelerado. Constantemente se está investigando sobre mejoras en materiales, tanto en calidad como en costo, en métodos más efectivos para lograr dar las características deseadas al producto final; y por último, — en la posible utilización de materiales sustitutos para eliminar el alto costo, o la no disponibilidad de los materiales comunmente usados. Todos estos factores, aunados a la creciente demanda de productos enlatados, — necesarios para satisfacer a una población en constante crecimiento, han provocado dicho desarrollo.

En el presente capítulo se describen las características principales de los métodos más comunmente usados en la fabricación de envases, dado que cada uno de ellos, tiene sus ventajas y sus desventajas particulares, dependiendo de la aplicación final a que se destine el envase.

Las latas pueden ser de dos tipos: La de 3-piezas, que es la lata convencional y la de 2-piezas, que es un desarrollo más reciente. — Figs. 1, 2 y 3.

La lata de 3-piezas comprende el cuerpo de la lata, el cual tiene una costura en un lado, al que se le unen la base y la tapa.

La lata de 2-piezas comprende un cuerpo sin costura, formado por el método de embutido, al cual solamente se le une la tapa.

El proceso por lo tanto es diferente para cada tipo de lata.

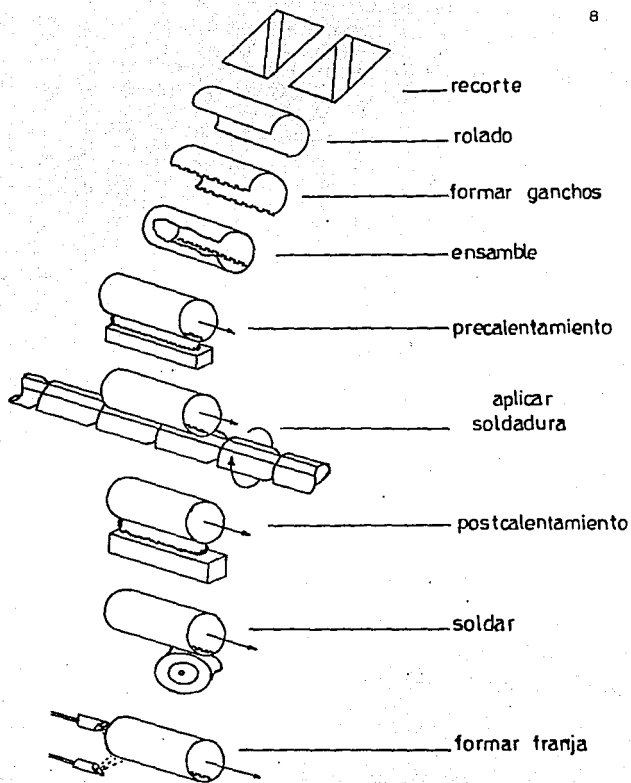


Fig. 1

Proceso de fabricación de latas de 3 piezas.

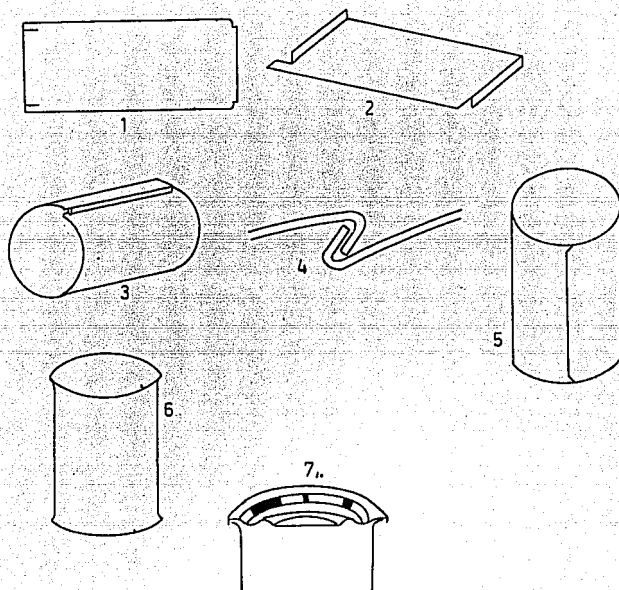


Fig. 2

- 1.- Recorte del cuerpo
- 2.- Formar ganchos
- 3.- Rolar cuerpo
- 4.- Costura
- 5.- Costura Soldada
- 6.- Pestañado
- 7.- Aplicación de la tapa

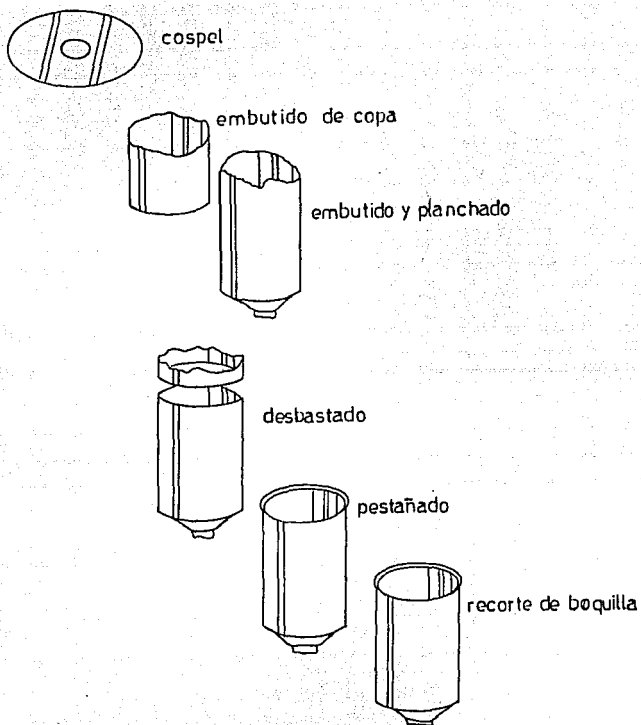


Fig. 3

Fabricación de latas de 2-piezas

1.1 LATAS DE 3-PIEZAS

Los pasos para la fabricación de latas de 3-piezas se muestran en la fig. 4.

El cuerpo de la lata se obtiene a partir de rollos de hojalata o bien de hojas que han sido laqueadas e impresas, cortándolas a la dimensión final del cuerpo. Las piezas cortadas son curvadas dentro del contorno requerido, haciendo ganchos exteriores e interiores en los bordes donde se hará la costura, siendo posteriormente soldada, finalmente el cuerpo es pestañado en la base y en la parte superior para unir o engargolar las tapas de la lata. La tapa y la base se forman en una operación aparte, a partir de rollos de hojalata (o de otro material opcional), o bien de láminas laqueadas e impresas si es necesario, troqueladas y formadas, subsiguientemente.

Finalmente, la lata vacía y la tapa, antes de realizar la operación de envasado y sellado se prueba contra fugas o goteos, utilizando aire comprimido, las latas con fugas, o las cubiertas defectuosas, son rechazadas automáticamente por el dispositivo probador. El interior de la lata se rocía con una laca no-tóxica para que los elementos potencialmente peligrosos del cuerpo de la lata no estén en contacto con el producto que se va a envasar.

La hojalata es el material más utilizado en la fabricación de latas de 3-piezas y que a pesar de llamársele tradicional, no significa en modo alguno pasado de moda, dado que la tecnología de la hojalata ha progresado en forma considerable, las ventajas de este material se verán en un capítulo posterior. Otro de los materiales que recientemente se comen

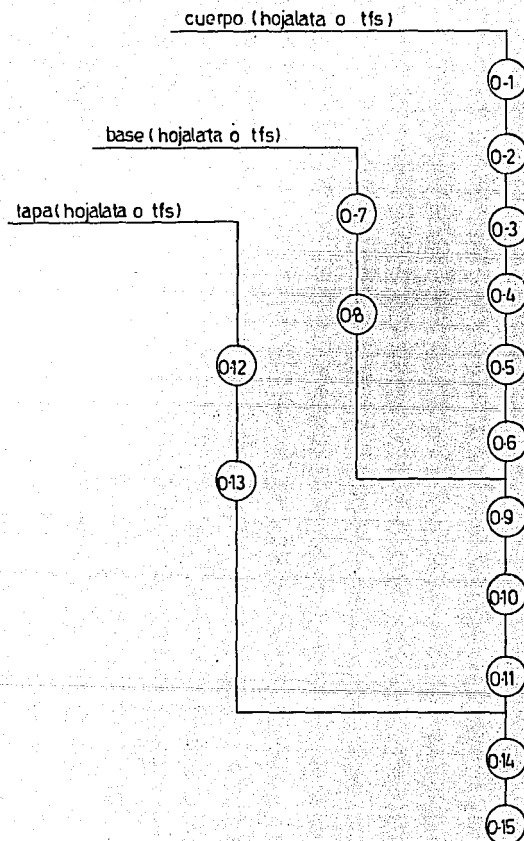


Fig. 4

Pesos para la fabricación de latas de 3 piezas

DESCRIPCION DE LAS OPERACIONES EN LA FIG. 4

- 0-1 Laqueado e impresión
- 0-2 Desbastado a la medida final
- 0-3 Curveado
- 0-4 Formación de ganchos interiores y exteriores
- 0-5 Soldar Costura
- 0-6 Hacer pestañas en bordes superiores e inferiores
- 0-7 Laqueado e impresión
- 0-8 Troquelado y formado
- 0-9 Engargolar base
- 0-10 Laqueado interior
- 0-11 Envasado de producto
- 0-12 Laqueado e impresión
- 0-13 Troquelado y formado
- 0-14 Engargolar tapa
- 0-15 Lata Sellada.

zó a utilizar para la fabricación de latas es el TFS (Tin Free Steel), - que como su nombre lo indica, no tiene recubrimiento de estaño, siendo - el cromo el material que se le adiciona para tal efecto.

Inicialmente, el TFS tuvo algunos obstáculos para su utilización en la fabricación de latas de 3-piezas. Uno de los principales fue que - no se podía efectuar la operación tradicional de soldado (soldadura fundida), lo cual es esencial para hacer la costura cuando se fabrica el - cuerpo. Dicha soldadura tiene que ser rápida para permitir alta veloci-- dad en la línea.

Para superar tal problema se desarrollaron dos métodos para formar la costura, que son los siguientes:

El primero es el de costura pegada, que consiste en la aplica-- ción de pegamento durante el doblar de la costura fig. 5, resultando una unión de muy alta resistencia, la unión es de hecho más fuerte que el - resto del metal de la lata; el segundo consiste en la soldadura de un ca libre delgado de material a velocidades comerciales, mediante un eléctro de cobre; en ambos casos se puede aplicar litografía en toda la superficie alrededor de la lata, fig. 6.

Como se puede observar, en algunos casos el TFS puede sustituir-- con éxito a la hojalata, como se verá en un capítulo posterior.

1.2 LATAS DE 2-PIEZAS

Un envase sin costura es superior a una lata soldada, aún cuando para unir las orillas por operaciones de soldado son necesarios métodos--

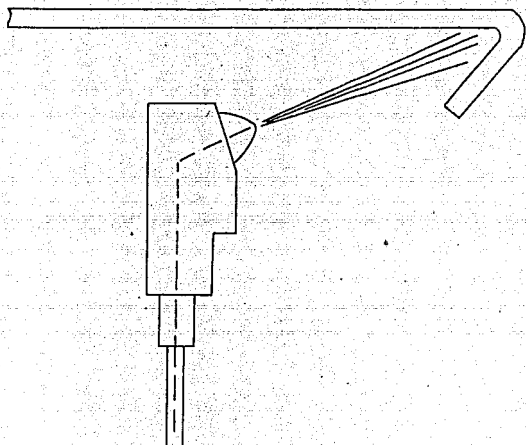


Fig. 5

Aplicación de pegamento en la Costura

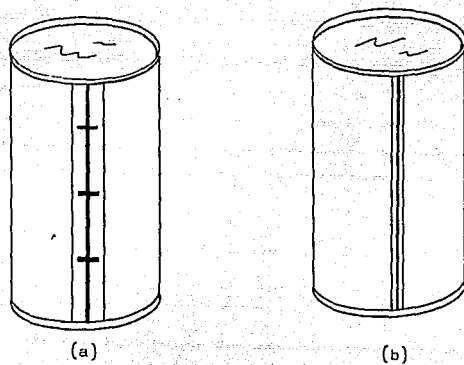


Fig. 6

- (a) Costura Soldada con plomo fundido
(b) Costura Soldada con electródo de cobre

altamente avanzados. Con aluminio, la costura de los lados representa un problema infranqueable, porque las altas velocidades de fabricación que se requieren hoy es aún un problema, de tal manera que no es sorprendente que la industria del aluminio haya comenzado sus actividades en la fabricación de las latas embutidas y planchadas, más pronto que la industria del acero.

Otra razón es la economía, puesto que se pueden obtener ahorros considerables en el costo de material. Se necesita una menor cantidad de material, porque se puede usar un calibre inicial mayor y ser soldado, sin requerir compuestos para su recubrimiento. Para la misma capacidad de fabricación se necesita menos personal y el total de secuencias de operación es más sencillo, puesto que el producto es fabricado continuamente "en línea" desde el rollo hasta que la lata queda lista para llenarse. Una ventaja de este tipo de producción es que los componentes parcialmente completos no tienen que ser almacenados entre operaciones, aunque esta ventaja económica podría ser en parte absorbida por los costos de inversión; sin embargo, la situación seguramente mejorará con futuros desarrollos técnicos del equipo de fabricación.

Las latas de 2-piezas pueden ser clasificadas en dos tipos, de acuerdo al método utilizado para fabricar el cuerpo de las mismas. El primero está basado en el proceso convencional de embutido, y se conoce como DRD (Drawn and Re-Drawn) que significa embutido y re-embutido, y tiene la limitación de que generalmente la altura de lata no debe exceder al diámetro de la misma.

El segundo está basado también en el proceso de embutido, y posteriormente un planchado de pared, y se utiliza, para latas cuya altura excede al diámetro de las mismas.

El proceso para fabricar latas por los métodos de embutido y re-embutido (DRD), y el método de embutido y planchado (DGI) comprende los pasos que se muestran en la figura 7.

A partir de rollos o láminas de material, (Hojalata, Aluminio o TFS) se obtienen las formas iniciales con las que se principiará la formación del cuerpo de la lata, dichas formas se denominan cospel. Con el cospel resultante se efectúa una operación inicial de embutido para obtener lo que se conoce como copa, que es la primera etapa para formar el cuerpo, tanto en el método DGI, como en el método DRD; a partir de este punto, el proceso para la terminación de la lata difiere para ambos procesos.

En el método DGI, la copa se empuja mediante un punzón a través de una serie de anillos de planchado progresivamente más pequeños en diámetro, la base de la lata durante el proceso, permanece con el mismo espesor que la hoja original, en tanto que el espesor de la pared se reduce.

En el método DRD, se vuelven a efectuar operaciones de embutido hasta lograr la altura deseada de la lata, en este caso el espesor de la pared del cuerpo permanece constante.

A los cuerpos que han sido formados, se les desbastan los bordes superiores para luego hacer un pestañeado en ellos, finalmente se rocía la parte interior con laca protectora y se engargola la tapa que se formó previamente.

A diferencia de las latas de 3-piezas, la litografía en las de 2-piezas se puede realizar después de formar el cuerpo, y en el total de -

sistema de alimentación
aluminio u hojalata

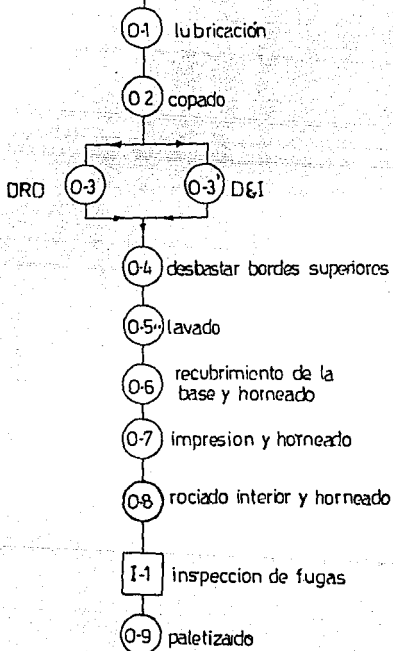


Fig. 7

Proceso de fabricación de latas de 2 piezas
por los métodos DRD y DEI.

la superficie, mientras que en las latas de 3-piezas, la litografía necesariamente debe ser previa a la formación del cuerpo, quedando sin impresión la superficie donde se realiza la costura.

1.2.1 METODO DRD

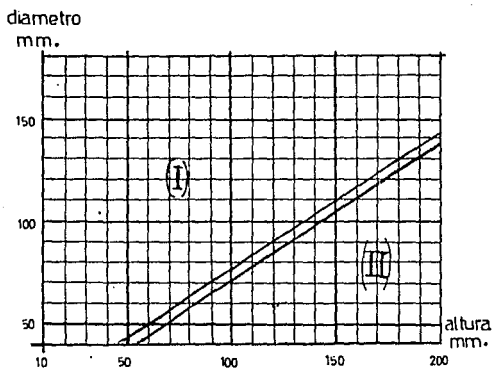
Las latas de este tipo pueden ser circulares, ovaladas o cuadradas, y dependiendo de la relación entre el diámetro del cospel y el diámetro de la lata, el embutido se realiza en uno o varios golpes, fig. 8, mientras tanto, el espesor del material permanece virtualmente inalterado durante el proceso.

Adicionalmente a la hojalata y al aluminio, también pueden fabricarse latas de este tipo de TFS, y de lámina negra laqueada; la película de laca puede soportar las operaciones de formado sin sufrir daño, esto elimina el lavado y laqueado subsecuente. Para esta aplicación la relación altura-diámetro, debe ser menor que 1.

Las operaciones de formado se muestran en la figura 9.

1.2.2 METODO DGI

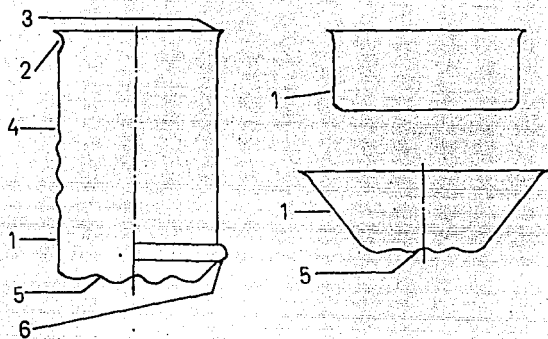
En el proceso DGI, el cuerpo de la lata se forma en dos operaciones: primero es el embutido de la copa, y en seguida el re-embutido y planchado de pared. Las copas se forman de metal plano, un rollo de material se alimenta a una prensa de formado de copas que tiene de 3 a 8 estaciones, ahí se obtiene un disco (cospel) y por embutido se forma la copa, ésta entonces se alimenta a una prensa especial de embutido y planchado o planchador. Esta secuencia se ilustra en la fig. 10. La copa puede ser embutida al diámetro final, en hojalata o lámina negra, pero cuan



- I** Se puede formar en un golpe
- II** Requiere varios golpes.

Fig. 8

Rango de dimensiones para latas de embutido profundo



1.- Embutido de copa
+ re-embutido

2.- Rebordeado

3.- Pestañado

4.- Encostillado

5.- Formado de la base

6.- Estirado

Fig. 9

Formado de las latas embutidas

do se trabaja con aluminio duro, la copa es generalmente más grande en diámetro que el producto final, en este caso se requiere una operación posterior de re-embutido.

En la fig. 10, se visualiza el proceso estándar de re-embutido y planchado. Un cilindro hueco montado sobre un dispositivo especial introduce la copa forzándola contra el molde de re-embutir, para controlar el flujo de metal durante el proceso. El punzón de embutir, entonces presiona la copa dentro de la configuración intermedia 'A'. La pared es todavía del mismo espesor que el metal original. Luego la copa es embutida a través de un molde de planchado y obtiene la configuración 'B'. En este proceso el espesor de la pared se reduce sobre un 40% en Aluminio duro, y sobre un 50% en acero. El espesor de pared se reduce y proporcionalmente se extiende en longitud. En seguida la lata se plancha a la longitud total y la pared es por medio de ésto, reducida al espesor de diseño. El perfil de la base se le dá al final del golpe.

El sistema ilustrado en la figura 10, está provisto de 2 moldes o anillos de planchado, aunque cabe mencionar que 3 de los 4 mayores fabricantes de equipo para fabricación de latas por este método lo están fabricando con 3 moldes o anillos de planchado.

En el golpe de reversa, la lata se libera del punzón, entonces se corta a la altura final y se envía a las operaciones finales, incluyendo limpieza, pre-tratamiento, decoración exterior, recubrimiento exterior, rebordeado y formado de la doble costura (engargolado) fig. 11.

Los materiales utilizados para este proceso, son el Aluminio y la hojalata principalmente. El TFS no es útil para este método ya que el

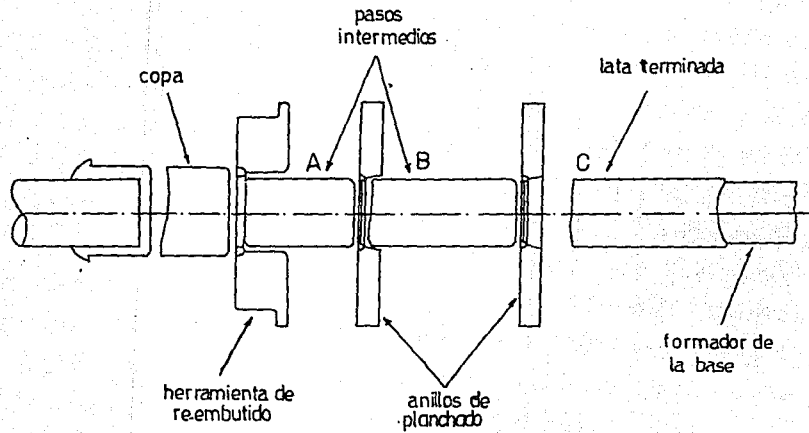
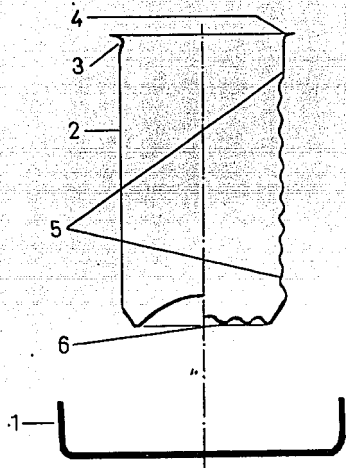


Fig. 10

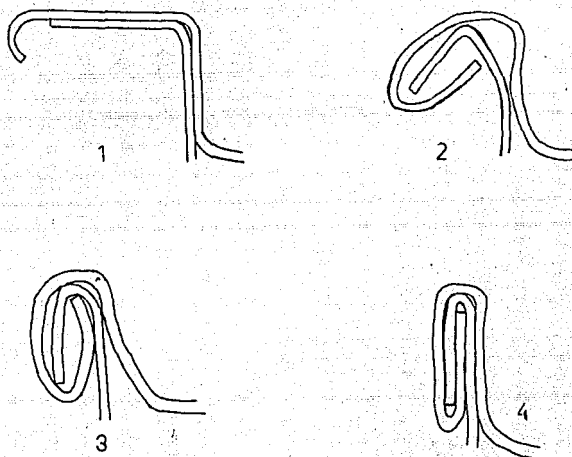
Etapas de la formación de latas embutidas y planchadas



- | | |
|---------------------------|---------------------|
| 1.- Embutido de copa | 4.- Pestañado |
| 2.- Planchado (3 anillos) | 5.- Encostillado |
| 3.- Rebordeado de cuello | 6.- Formado de base |

Fig. 11

Formado de latas embutidas y planchadas



1.- Cubierta sobre cuerpo

3.- Segundo paso de curvado

2.- Primer paso de curvado

4.- Doble costura completa

Fig. 11 a

Engargolado de cuerpo y tapa

efecto lubricante del recubrimiento del material es un factor decisivo en la aplicación del mismo, y en el caso del TFS éste no fluye.

Comparada con las latas convencionales (3-piezas), las latas DGI son pretendidamente más económicas, en cuanto a que usa menos metal, — (por la razón de las paredes más delgadas) así como en su fabricación — (sobre cierta relación longitud-diámetro).

Puesto que las paredes se forman simultáneamente, un buen número de pasos convencionales se eliminan. Las latas se mejoran en apariencia visual, son adecuadas para la litografía alrededor de toda la superficie del cuerpo, y tienen además la ausencia de costura. Por esta última razón, el cuerpo de la lata tiene una seguridad muy grande contra fugas.

Sin embargo, se debe también mencionar que la inversión inicial para una línea de DGI, puede ser tan alto como diez veces el costo de una línea convencional de 3-piezas.

Las latas de poca altura pueden completarse por una sola operación de embutido de la copa, Fig. 12. Para latas con un incremento de altura esta operación sirve para hacer la copa. La operación puede aplicarse para todos los grados comerciales de hojalata.

Puesto que el esfuerzo de tensión influye en la fuerza necesaria del pisador, debe tenerse una fuerza más grande en la prensa de embutido profundo, cuando se efectúan operaciones de formado para material más duro.

Debe notarse que los pliegues en las copas pueden ser la causa de que más tarde se produzcan rupturas en los rebordes.

La copa pre-embutida se reembutirá para reducir el diámetro y/o planchado para reducir el espesor de la pared del cuerpo.

Para reducir el diámetro de la copa, se requiere una operación de embutido profundo con un re-embutido; se aplicará como una operación intermedia para la lata D&I, en caso de que el valor RLE (Relación Límite de Embutido), no sea suficiente para las latas delgadas. Para las latas de embutido profundo, éste servirá para incrementar su altura.

En el primer caso son suficientes reducciones pequeñas del diámetro del orden del 10%, por ejemplo para latas de bebidas de 12 oz, cuando se usa hojalata.

Esta operación de formado puede realizarse sin el uso del pisador. Cuando se usa un punzón para re-embutir con un contorno de formado cónico, la fuerza normal al área ahusada actúa como presión del sujetador. Su valor será mayor, cuando menor sea el ángulo de apertura con relación al eje de referencia; las pérdidas por fricción, sin embargo, también aumentarán. Entre estas dos influencias se determina el valor óptimo.

Para una operación de re-embutido, por ejemplo, partiendo de un diámetro de 73 mm. hasta uno de 67 mm. (relación de operación =1.1), un ángulo del 10° parece ser el adecuado, (fig. 13).

Aunque los costos del material para un envase embutido y reembutido son más elevados que para uno embutido con planchado de pared, este método de fabricación se espera que tenga alguna ventaja, especialmente para producciones no muy grandes. La resistencia necesaria a la corrosión debe obtenerse mediante la aplicación de la laca a las hojas. Antes

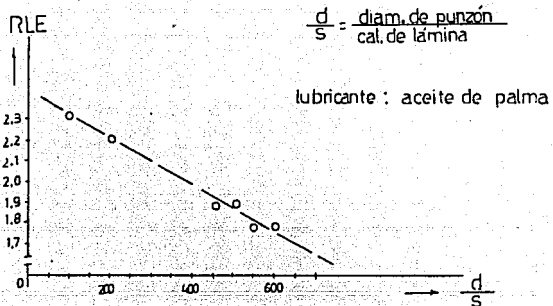


Fig. 12

Valores de RLE.

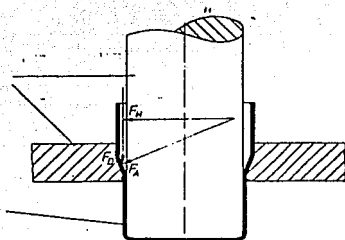


Fig. 13

Embutido sin sujetador

del proceso de formado; ésta eliminaría las operaciones de limpiado y rociado de laca posterior.

Si este método de fabricación de latas prueba ser de éxito para algún tamaño de latas, que puedan producirse en sólo dos embutidos profundos con una pequeña altura, tal como el 307 x 113 (84 mm. x 46 mm.), - entonces se puede utilizar un material con recubrimiento de cromo (TFS = Tin Free Steel).

1.3 CARACTERISTICAS DE FORMADO EN EL PROCESO DE FABRICACION DE LATAS - DE 2-PIEZAS.

1.3.1 PLANCHADO DE LA PARED

La operación del planchado se realiza con una más alta presión superficial en la herramienta. El estaño con que se ha recubierto el acero, tiene dos propósitos. Sus propiedades lubricantes actúan juntamente con un esmalte, que al mismo tiempo, absorbe el calor durante el formado, y ayuda a reducir las pérdidas de fricción.

La fig. 14, representa los resultados de la función de la capa de estaño con todos los otros valores (grado de acero, relación de planchado, lubricación) constantes. Un ligero incremento de las cargas de planchado con una disminución de la capa de estaño dará como resultado un valor máximo de aproximadamente 3,000 kg. con solamente (2 g/m² del área de acero).

La Segunda propiedad del estaño es que actúa como separador entre el metal a base de acero y el material de la herramienta. Sin estaño ocurrirá un desgaste después de la fabricación en algunos envases debido

a la soldadura en frío del acero sobre los dados de planchado en la composición de carburo que se usa hoy. Para eliminar el efecto de desgaste de pared, pueden usarse otras capas intermedias. Una capa de fosfato pue de aplicarse para este propósito.

La resistencia a la corrosión de la película inferior, abajo de la capa de laca en el interior puede ser provisto por un pretratamiento químico durante el proceso de limpiado si se requiere.

El calentamiento de las latas por fricción durante la operación de planchado pueden producir temperaturas tan altas que causan la fundición del estaño. El estaño mantiene una distribución uniforme sobre la superficie, pero la apariencia de la lata se deteriora si no se usa como base una copa protectora. Para solucionar este problema se pueda mejorar el sistema de enfriamiento.

1.3.2 REBORDADO HACIA ADETRON Y ENFALDILLADO.

Estas operaciones tienen que llevarse a cabo en el extremo más endurecido del envase.

El rebordado o formado de cuello hacia adentro es una operación de compresión y no conduce a ningún peligro de ruptura. Mediante una adecuada elección del diámetro y forma de las herramientas, se pueda evitar la formación de dobleces.

El enfaldillado es una operación de estirado; para latas de bebés siempre se combina con el rebordado hacia adentro.

La fig. 15 muestra diferentes métodos para llevar a cabo estos procesos. El más simple y dada sus condiciones poco favorables de resis

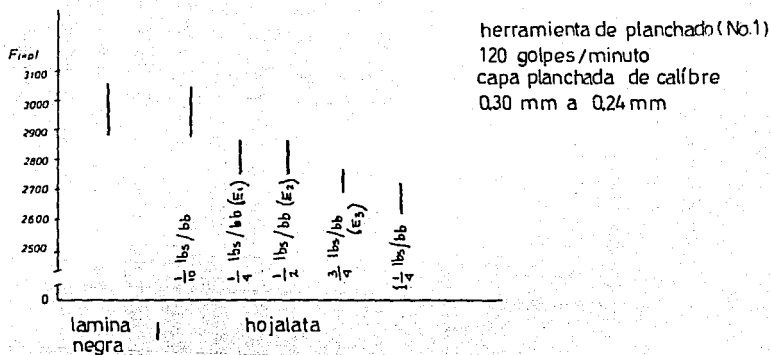


Fig. 14

Cargas de planchado

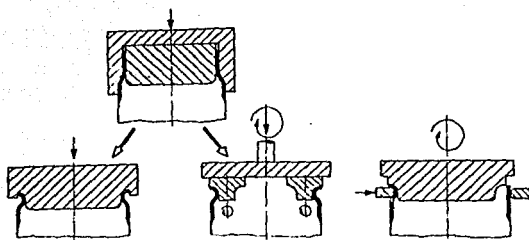


Fig. 15

Proceso de pestañado y reborde

tencia, requiere de materiales de las más altas calidades para poder realizar el enfaldillado con una herramienta de compresión. Se pueden realizar mejoras con el uso de un rodillo como herramienta. Las dimensiones pequeñas del rodillo mejorarán las condiciones de resistencia en esta operación de "enfaldillado por giro".

En ambos casos la cantidad de estirado será determinada por la dimensión total del reborde, esta operación se toma en cuenta para decidir la cantidad de material que se usará. Parece ser que solamente el acero muerto en aluminio satisface completamente los requerimientos de enfaldillado, por lo tanto la aplicación continua de acero colado será la más económica solución a este problema. El acero muerto en aluminio se distingue por su tendencia a conservar su alto grado de limpieza.

Especialmente para producción en masa, los costos del material son de una importancia tal, que es indispensable tener un conocimiento completo de todas las posibilidades y limitaciones de los varios tipos de materiales bajo todas las condiciones de fabricación. Por lo tanto puede decidirse si se adapta una tecnología para el material más barato o se desarrolla un material especial para el equipo de fabricación más barato, de tal forma que se garantice el éxito económico de la operación.

1.4 INFLUENCIA DE LAS VARIABLES DE LA HOJALATA EN EL PROCESO DE FABRICACION DE LATAS POR EL METODO DE EMBUTIDO Y PLANCHADO.

Los estudios de los efectos en el acero templado, se realizaron debido a que la resistencia del fondo del envase es un parámetro de diseño importante y, consecuentemente, un conocimiento de las propiedades in

trinsecas del acero en el proceso de fabricación de latas es también importante. Se estudió también el espesor de estaño para determinar la influencia del peso del recubrimiento en la dificultad de formado y las características del envase y para determinar el papel que juega el estaño en el proceso de planchado.

La medición de las cargas de planchado de pared se miden en una arandela de carga en la base del punzón y registrada como una función del tiempo. En la fig. 16 se muestran las curvas típicas para la segunda y tercera etapa de planchado.

Las operaciones de embutido y re-embutido anteriores al planchado dieron como resultado una copa con el mismo diámetro interior que el del punzón de planchado, pero con un espesor de pared que varía del fondo a la parte superior. El espesor de la pared en el fondo de la copa es igual al espesor del metal original, mientras que en la parte superior es unas pocas milésimas más grueso. La resistencia de la pared lateral también aumenta del fondo a la tapa como resultado del gradiente de trabajo en frío.

1.4.1 EFECTO DEL PESO DEL RECUBRIMIENTO.

Las cargas justamente después del pico de carga inicial como se indica en la fig. 16, se trazaron por cada variable de la hojelata como función del peso del recubrimiento, fig. 17. Las cargas trazadas fueron los promedios de las cargas medidas en tres latas diferentes. En todos los casos las cargas son más altas para el segundo planchado que para la tercera etapa de planchado.

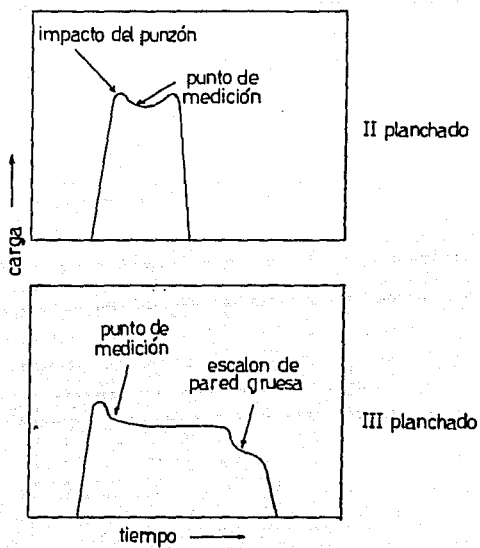


Fig. 16

Curva esquemática punzón - carga/tiempo

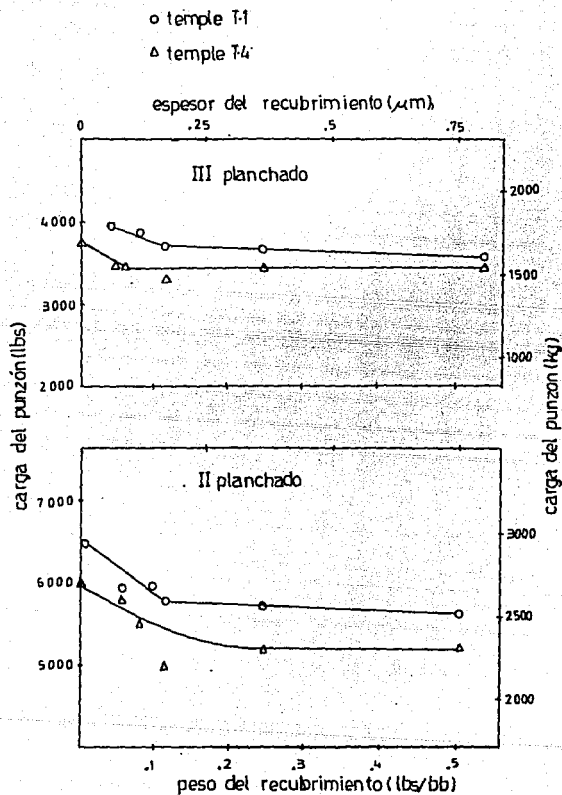


Fig. 17

Cargas de planchado vs peso de recubrimiento de estaño.

El nivel de fuerzas permanece relativamente constante o aumenta ligeramente cuando disminuye el peso del recubrimiento.

1.4.2 EFECTO DEL TEMPLE Y RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE.

Durante la segunda y tercera operación de planchado las fuerzas que se registran no difieren significativamente entre los materiales rugosos y lisos del mismo temple.

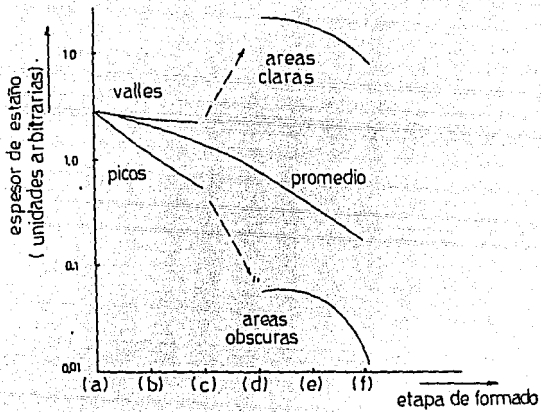
La diferencia de rugosidades entre las variables son alteradas en las operaciones de embutido-reembutido y la diferencia de la rugosidad se elimina después de la operación de dimensionamiento.

1.4.3 EFECTO DE LAS OPERACIONES DE FORMADO.

Es aparente que la superficie original del cospel sea considerablemente rugosa debido al deslizamiento del grano que se produce durante la deformación en las etapas de embutido y reembutido. Durante las etapas de embutido, el estaño se removió de los picos a los valles. El incremento de reducción durante las etapas de planchado, aceleran el movimiento del estaño y del acero base y producen una superficie mucho más suave que la de las copas reembutidas.

En las etapas de embutido y reembutido, el espesor del estaño en los picos disminuye rápidamente, mientras que para los valles se produce una disminución más gradual. Fig. 18.

La superficie exterior del envase se deforma severamente y el estaño en la superficie ha recorrido grandes distancias en muchas direcciones por la acción de arrastre (barrido) del anillo de planchado. Por el-



- | | |
|-----------------|-----------------------|
| (a) disco plano | (d) primer planchado |
| (b) embutido | (e) segundo planchado |
| (c) reembutido | (f) tercer planchado |

Fig. 18

Redistribución del estaño durante el formado.

contrario, el lado interior del envase no estuvo sujeto a esa acción de arrastra y como resultado, la superficie del interior no llegó a ser muy suave debido a que muchos valles quedaron sin ser llenados.

1.5 EVOLUCION DE LAS LATAS.

En la tabla 1, se muestran en orden cronológico los récords de la carrera competitiva de las latas, no solo entre acero y aluminio, sino también entre las tecnologías de fabricación de 3-piezas contra 2-piezas.

En los años que precedieron en la introducción de la lata DEI, la lata estándar de 3-piezas reinaba y tenía las siguientes características: típicamente el cuerpo de la lata fué hecho de lámina 75 lb y las tapas de lámina 107 lb. ver tabla 2.

1964.- La primera lata sin costura fue hecha de aluminio con la aleación 3004 en un temple intermedio. Estas primeras latas fueron rectas, no rebordeadas. Fig. 19. La lata pesaba 41.5 lb/ 1000 (41.5 lb por millar de latas), tenía una tapa en aleación 5082 que pesaba 12.47 lb/1000.

1965.- Un año más tarde, Reynolds construye una segunda planta, las latas fabricadas ahí fueron un poco más avanzadas. El mismo año apareció la primera lata de 3-piezas hecha de hojalata de doble reducción (DR). El peso bajó drásticamente, el cuerpo a 55 lb y la tapa a 95 lb.

También en 1965, Reynolds introdujo las primeras latas rebordeadas hacia adentro Fig. 20. Lo que representó un gran avance en la tecnología de los envases.

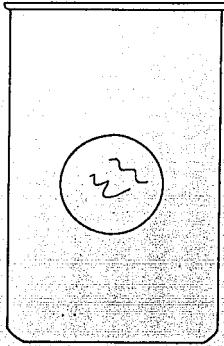


Fig. 19
Lata recta

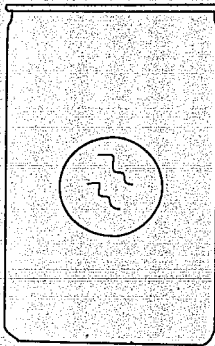


Fig. 20
Lata rebordeada

1968.- En este año aparecieron las latas de 3-piezas hechas de TFS de doble reducción (DR), el lado de la costura se soldaba con electrodo de cobre, o bien era cementado (pegado). Hubo una pequeña reducción en el material requerido para la pared de la lata. El impacto principal sin embargo, fué obtener una lata muy atractiva de un cómodo material de bajo precio llamado TFS.

1969.- Para combatir la lata de TFS, Reynolds intervino con una lata DGI hecha de la misma aleación 3004 pero de dureza máxima temple H19. El peso de la lata se redujo del anterior de 39.4 lb/1000. La tapa se hizo de una aleación fuerte (5182) que permitió también una reducción de peso.

1972.- Las primeras latas comerciales DGI aparecieron, primero fabricadas por Crown Cork & Seal, y luego por American Can. La lata fué hecha de lámina 118 lb y fué rebordeada. También en 1972 apareció la primera lata de TFS soldada y pegada, rebordeada en ambos lados de las tapas lográndose grandes ahorros en el costo de las mismas.

De 1972 a 1974 la lata DGI de aluminio bajó gradualmente de peso. El rango de pesos de las latas fué de 33.5 lb a 32.5 lb/1000. Nada espectacular pero un continuo descenso al fin.

1958 3-piezas ETP-SR-rectas (1).

1965

Lámina del cuerpo	75 lb/BB x 1.3324 BB/1000 (2)
Lámina de la tapa	107 lb/BB x 0.3034 BB/1000

1964	2-piezas D&I Aluminio 3004-H320, 211x413 recta (3)		
	Peso neto lata	41.50 lb/1000	
	Peso neto tapa	12.47 lb/1000	
1965	2-piezas D&I Aluminio 3004-H320, 211x413 recta.		
	Peso neto lata	39.40 lb/1000	
	Peso neto tapa	12.47 lb/1000	
1965	3-piezas ETP-OR-rectas.		
	Lámina del cuerpo	55 lb/88-DR x 1.3324 88/1000	
	Lámina de la tapa	95 lb/88-DR x 0.3034 88/1000	
1965	2-piezas D&I Aluminio 3004-H320, 209/211 x 413 rebordeada		
	Peso neto lata	39.4 lb/1000	
	Peso neto tapa	11.31 lb/1000	
1968	3-piezas TFS-OR-Soldada o Pegada.		
	Lámina del cuerpo	55 lb/88-DR x 1.2951 88/1000	
	Lámina de la tapa	95 lb/88-DR x 0.3034 88/1000	
1969	2-piezas D&I Aluminio 3004-H119, 209/211 x 413 rebordeada.		
	Peso neto lata	34.0 lb/1000	
	Peso neto tapa	10.48 lb/1000	
1972	2-piezas D&I ETP 118 lb/88, 209/211 x 413 rebordeada.		
	Peso neto tapa	75 lb/1000	
	Peso neto tapa	10.48 lb/1000	
1972	3-piezas TFS-RO-Doble rebordeada, Pegada o Soldada.		
	Lámina del cuerpo	55 lb/88-DR x 1.2951 88/1000	
	Lámina de la tapa	90 lb/88-DR x 0.2844 88/1000	
1972	2-piezas D&I Aluminio 3004-H119, 209/211 x 413 rebordeada.		
1974	Peso neto lata	32.50 lb/1000	
	Peso neto tapa	10.48 lb/1000	

TABLA I

EVOLUCION DE LAS LATAS.

lt x	Peso caja base	Peso Equivalente Kg/m ²	Espesor Equivalente mm.
	45	1.00	0.125
	50	1.12	0.140
	55	1.23	0.154
	60	1.35	0.168
	65	1.46	0.182
	70	1.57	0.196
	75	1.68	0.210
	80	1.79	0.224
	85	1.91	0.237
	90	2.02	0.251
	95	2.13	0.265
	100	2.24	0.279
	107	2.40	0.299
	112	2.51	0.313
	118	2.65	0.330
	128	2.87	0.358
	135	3.03	0.377
	139	3.12	0.388
	148	3.32	0.414
	155	3.48	0.433
	168	3.77	0.469
	175	3.93	0.489
	180	4.04	0.503
	188	4.22	0.525
	196	4.38	0.548
	208	4.67	0.581
	210	4.71	0.587
	215	4.82	0.601
	228	5.12	0.637
	235	5.27	0.656
	240	5.39	0.671
	248	5.57	0.693
	256	5.72	0.712
	268	6.01	0.749
	270	6.06	0.754
	275	6.17	0.768

TABLA 2

PESOS Y ESPESORES NOMINALES DE LA
HOJALATA COMUNMENTE PRODUCIDA .

- (1) ETP-SR.- Hojalata electrolítica - Simple reducción.
- (2) BB.- Estándar de medición para la hojalata en la industria del envase llamado Caja base (Base Box), es el equivalente de 112 hojas de 35.56 x 50.8 cm. ó 203870.56 cm² de placa.
- (3) 211 x 413.- Dimensiones de latas 2 11/16 in x 4 13/16 in.

Así, la lata de aluminio fue firmemente establecida como un competitivo y funcional envase por tres mejores descubrimientos.

- 1).- Creación de la primera lata sin costura.
- 2).- La lata rebordeada sin costura.
- 3).- La lata rebordeada sin costura, hecha de metal de alta dureza.

Al comparar las latas de aluminio y acero normalmente se ve desde el punto de vista del costo del metal y de algunas diferencias de costo de los procesos de manufactura. Probablemente deberíamos examinar en lugar de eso, qué provocó esta competencia a la evolución de latas de hojalata, mediante la comparación del peso de los metales de las latas anteriores al DEI contra las latas posteriores. Tales comparaciones se hacen en la fig. 21.

Tres latas típicas de hojalata se presentan aquí. La antigua lata de 3-piezas a la izquierda, la posterior lata de 3-piezas en el centro y una lata de hojalata DEI a la derecha. La mitad superior del esbozo muestra un cómputo de la entrada de materiales y el peso neto por millar de latas, incluyendo tapas o tapa. En la gráfica el peso de entrada de latas del año de 1963 nos da la base del 100%, el peso neto es trazado próximo a él. Nótese que el peso inicial de las latas de DEI de 1972 es solamente el 74% del peso inicial de las latas de 1963.

En los primeros días del auge de DEI, el argumento que se escuchó frecuentemente, era que la lata DEI no podía ser de un metal tan eficiente como el de la lata de 3-piezas, dado que el cuerpo y las tapas tenían que ser hechas a partir de cóspales circulares creando excesivo desperdicio.

3 Piezas ETP-SR*		3 Piezas TFS-DR**		2 Piezas D&I ETP	
Peso de Insumo 1b/1000		Peso de Insumo 1b/1000		Peso de la Chapa 1181b (5.32CE)	
1 Cuerpo - 1.3324*75=	99.93	1 Cuerpo - 1.2851 x 55 =	70.68	Peso Lata	Tapa
2 Tapas - .3034 x 107 x 2 =	64.94	2 Tapas - 1.2844 x 90 x 2 =	51.20	Insumo = 95.81 lb/1000	25.60 lb/1000
Insumo Total	= 164.87	Insumo Total	= 121.89	Peso Cospel =	83.49
Peso Neto 1b/1000		Peso Neto 1b/1000		Peso Recorte = 8.49	
1 Cuerpo - 1.320 x 75 =	99.05	1 Cuerpo - 1.2851 x 55 =	70.68	Peso Neto =	75.00
2 Tapas - (3.252 (E) =	56.54	2 Tapas - (3.147 CE) =	44.54		22.27
Peso Neto Total	= 155.60	Peso Neto Total	= 115.22	Peso de Insumo Lata + Tapa =	121.41
Desperdicio en % de Insumo =	3.	Desperdicio en % de Insumo =	5.4	Peso Neto Lata + Tapa =	97.27
				Desperdicio en % De insumo =	19.88

tapa		100 %
cuerpo		75 %
		50 %
tapa		25 %

Insumo Bruto	Neto	Insumo Bruto	Neto	Insumo Bruto	Neto
1963	1972	1972	1972	1972	1972
3 Piezas ETP-SR		3 Piezas TFS-DR		2 Piezas D&I ETP	

Fig. 21
COMPARACION DEL PESO DE UNA LATA 211 x 413 DE ETP *

* Electrolytic Tin Plate (Hojalata electrolítica)

** Tin Free Steel.

Es verdad que hay muy poca diferencia entre el peso inicial y el peso neto de las latas de 3-piezas, porque el componente principal es -- cortado de un cospel rectangular. De hecho es solamente el 3.0% sobre la lata de 1963, mientras que es un 19.89% en la lata DGI. Pero esto no es relevante puesto que el peso inicial es sustancialmente menor que la lata vieja, y no peor que el peso inicial de la mejor lata corriente de -- 3-piezas.

El peso neto, sin embargo es sustancialmente menor. Pero puesto que la diferencia es controlable manufacturando el desperdicio, la mayoría del cual regresa al recipiente de fundición, que significa una gran ayuda para el futuro.

1.6 LATAS PROYECTADAS.

Las más avanzadas latas, por ejemplo ligeras en Aluminio y Acero están en la etapa de prototipo y algunas han sido corridas en cantidades piloto. Algunos de esos propósitos son mostrados en la Tabla 3.

Primero la lata ligera de aluminio de Alcoa, con un peso neto -- propuesto de 28 lb/1000 ha sido proyectada por algún tiempo y producida -- en cantidades de medidas apropiadas.

Las siguientes 2 latas mostradas son de hojalata; una hecha de -- lámina 107 lb temple T4, la otra de lámina 55 lb de doble reducción. Nótese el bajo peso neto de 68 y 60 lb/1000, respectivamente. Es así que -- estos envases son estructuralmente funcionales.

Las últimas dos latas representan un desarrollo de American Can Co; la base de la lata no es rígida, ésta admite ser doblada o encorvada bajo una presión. La relativa planicidad de la base no desplaza tanto vo

lumen como una base rígida.

La batalla para la fabricación de latas continúa. Los fabricantes ahora eligen entre hojalata, TFS, aluminio, plástico, papel y otros. Cada material tiene sus ventajas y desventajas considerando costo, manufactura y aplicación. El aumento de precios y la no disponibilidad del estaño no debe causar el desplazamiento de la hojalata de la industria del envasado, por TFS, aluminio y otros materiales. Sin embargo un material que pueda sustituir completamente la hojalata no ha sido encontrado aún.

A.- LATAS RIGIDAS

ALCOA

2-piezas DGI Aluminio 3004-H119, 209/211 x 413.

Peso inicial 35 lb/1000

Peso neto 28 lb/1000

2-piezas DGI ETP-T4 107 lb/88.

Peso inicial 85.87 lb/1000

Peso neto 68.00 lb/1000

2-piezas DGI ETP-DR 95 lb/88.

Peso inicial 77.13 lb/1000

Peso neto 60.00 lb/1000

B.- LATAS DE BASE FLEXIBLE.

AMERICAN CAN Co.

2-piezas DGI Aluminio 3004-H119, 209/210.5 x 413.

Peso inicial 35.65 lb/1000

Peso neto 28.50 lb/1000

2-piezas DGI Hojalata 103 lb/88, 209/210.5 x 413.

Peso inicial 83.62 lb/1000

Peso neto 65.50 lb/1000

TABLA 3
LATAS PROYECTADAS

CAPITULO 2

HOJALATA

2.1 ASPECTOS GENERALES.

La hojalata ha sido el material tradicional en la fabricación de envases, y ha continuado siendo uno de los más importantes, a pesar de que existen otros, con sus propias ventajas que actualmente compiten con ella con buenos resultados. La razón de que prevalezca la hojalata como material para la fabricación de envases es su continuo desarrollo, tanto en mejorar las técnicas de producción para aumentar los rendimientos, como en la reducción de los costos, al mismo tiempo que se mejoran las cualidades de la hojalata. Por otro lado, no ha surgido un material que a pesar de sus ventajas particulares, sustituya en forma total a la hojalata.

Cabe señalar que la hojalata es un producto laminado plano, en bandas de acero dulce o extradulce (de bajo contenido de carbono) recubierto de una capa de estaño comercialmente puro. Así en un producto poco costoso, quedan reunidas la resistencia mecánica y la aptitud a la deformación características del acero, con la resistencia a la corrosión, la soldabilidad y el perfecto aspecto exterior del estaño.

Adicionalmente, la hojalata posee otras propiedades ventajosas para su elección en la fabricación de envases como son:

El efecto lubricante del recubrimiento de estaño, para facilitar la producción de envases por el método de embutido y planchado (O&I), el acabado brillante y lustroso, que no solo tiene apariencia atractiva, sino que también proporciona una base reflectiva para realzar la litografía.

fía, buena adhesión a la laca, de manera que se reduce la posibilidad de dañar la película de la misma durante la fabricación del envase. Otra — ventaja importante del estaño, es que no es tóxico, lo cual es muy ventajoso en el envasado de alimentos. De aquí que la hojalata ha proporcionado tradicionalmente el material de elección para la manufactura de envases.

La hojalata se obtiene por laminación de acero en bandas, hasta conseguir el espesor deseado y, acto seguido, por aplicación de un revestimiento de estaño puro que se efectúa por inmersión en un baño de estaño en fusión, o bien por el método electrolítico. El método original para aplicar el estaño fue el de inmersión, que es utilizado aún en cierta medida pero actualmente más del 95% de la hojalata es fabricada por el — proceso electrolítico, ya que posee marcadas ventajas sobre el método de inmersión como se verá más adelante.

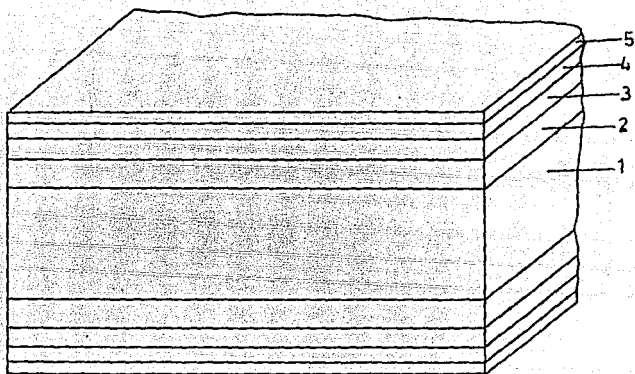
2.2 ASPECTOS METALURGICOS

Una completa apreciación de la metalurgia de la hojalata se puede visualizar en la fig. 22 donde se muestran 9 capas que consisten en:

- | | |
|---------------------------|----------------------------|
| 1.- Capa de aceite | 6.- Aleación hierro estaño |
| 2.- Oxido de estaño | 7.- Estaño libre |
| 3.- Estaño libre | 8.- Oxido de estaño |
| 4.- Capa de hierro/estaño | 9.- Capa de aceite. |
| 5.- Acero base | |

2.2.1 ACERO BASE

De especial importancia en la fabricación de la hojalata, es la elección del acero base, y de la composición apropiada para su aplica—



Capa	espesor (pulg.)
1.- Acero base	10-2 (0.001)
2.- Capa de aleación	10-6 (0.000001)
3.- Estaño	10-5 (0.00001)
4.- Oxido de estaño	10-7 (0.0000001)
5.- Película de aceite	10-7 (0.0000001)

Fig. 22

Sección mostrando las diferentes capas en la fabricación de hojalata.

ción final. Virtualmente toda la hojalata se fabrica de aceros con una composición entre los rangos que se muestran en la tabla No. 4.

Para aplicaciones particulares, determinadas por requerimientos de temple, y un envasado adecuado del producto, se seleccionan los rangos deseados de composición. En general el promedio de productos corrosivos, lo representan las frutas ácidas. Para estas aplicaciones el Fósforo, el Cobre y algunos elementos dañinos en el acero, se mantienen en su límite más bajo, y se añade Nitrógeno, para proporcionar fuerza adicional si así se desea.

2.2.2 CAPA DE ALEACION FIERRO-ESTAÑO

Cuando una superficie de acero limpia, se pone en contacto con estaño en fusión, ocurre una reacción con la formación de una capa de aleación fierro-estaño, ligada íntimamente a la superficie del acero.

La metalurgia para la aleación fierro-estaño, ha recibido considerable atención por varios investigadores. El diagrama de fase para el sistema fierro-estaño que se muestra en la fig. 23 revela que hay probablemente tres compuestos importantes de fierro-estaño.

- 1.- $Fe_2 Sn$, referido como la fase épsilon (ϵ) que es estable entre $760^\circ C$ y $900^\circ C$ pero puede, en presencia de suficiente estaño, reaccionar a $800^\circ C$ y formar $FeSn$ ó fase zeta (ζ).
- 2.- $FeSn$, o fase zeta (ζ) que es estable a todas las temperaturas abajo de $800^\circ C$ pero que reacciona con exceso de estaño abajo de $469^\circ C$ para formar el compuesto $FeSn_2$ conocido como fase eta (η).

- 3.- FeSn o fase eta (η) que es estable abajo de 496° C y no hay reacción posterior.

Por lo que respecta a las operaciones de estaño, siempre se efectúan a temperaturas considerablemente abajo de 496° C, esto indica que la capa de aleación debe contener ambas fases eta y zeta. Los resultados de estudios de difracción de rayos X, y análisis químicos, indican que predomina el compuesto FeSn₂ o fase eta (η).

2.2.3 CAPA DE ESTAÑO

Como se puede observar en fotomicrografía, la capa de estaño es considerablemente más gruesa que la capa de aleación fierro-estaño. Es muy usual estimar el espesor de Estaño en términos de peso del mismo por unidad de área, en lugar de hacerlo en términos de mediciones de espesor de esta forma la hojalata electrolítica, tendrá en promedio 454 gr. de estaño por Caja Base (BB) depositada sobre ambas superficies de 228 128. cm² de acero.

Asumiendo que 36 gr. de estaño por BB, se presenta como una capa de aleación fierro-estaño, se presentan 418 gr. de estaño por BB en forma libra.

2.2.4 CAPA DE OXIDO DE ESTAÑO

Sobre la superficie de la hojalata, se forma una delgada película de óxido al tener ésta contacto con el aire. Esta película ejerce en cierto grado una acción protectora cuando la hojalata está en almacenamiento. La película de óxido puede seguir creciendo paulatinamente hasta el punto de ser visible, presentándose con un cambio de colores empezando

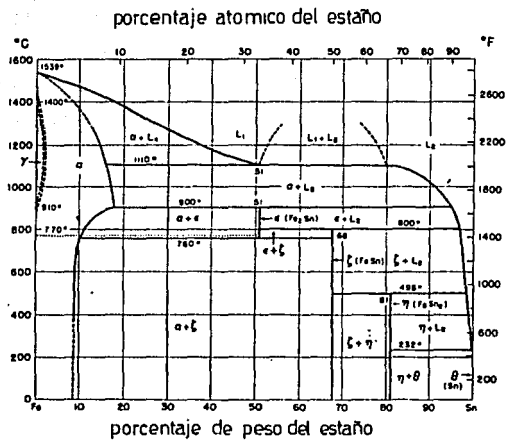


Fig. 23

Diagrama de equilibrio para el
Sistema hierro - estaño

do con el amarillo, posteriormente azul, y finalmente púrpura este último bajó muy severas condiciones de exposición.

El crecimiento de la película de óxido, puede ser acelerado premeditadamente, mediante operaciones de horneado de laca, o por almacenamiento en áreas de alta temperatura y humedad.

La película visible de óxido (decoloración amarilla) no solo — afecta a la hojalata en cuanto a la apariencia, sino que también puede causar una pobre adhesión de la laca protectora, y de la tinta de litografía, además de un efecto adverso en la soldabilidad. De tal forma — que resulta necesario que la hojalata sea estabilizada para inhibir el crecimiento de la película de óxido.

Las soluciones comerciales más comúnmente usadas para el tratamiento de la superficie de la hojalata, incluye, el ácido crómico, cromatos o dicromatos. Uno de los más convenientes es el tratamiento de — ácido crómico, que fue desarrollado durante los días iniciales de la — sustitución de la hojalata de inmersión en caliente, por la hojalata — electrolítica, y es todavía utilizado.

El tratamiento comprende la inmersión de la hojalata, en una so lución caliente 82° C de ácido crómico. La hojalata tratada mediante es te proceso, adquiere muy buena laqueabilidad, y exhibe probada resisten cia a la decoloración comparada contra hojalata sin tratamiento, pero — no es muy adecuada para almacenamientos prolongados.

2.2.5 PELICULA DE ACEITE.

Se ha encontrado necesario para la hojalata, el tener una pelicu

ELEMENTO	ACERO ENCERRADO Y TAPADO	ACERO FUNDIDO
CARBON	0.03 a 0.15	0.01 a 0.08
MANGANESO	0.20 a 0.60	0.20 a 0.60
FOSFORO	0.15 máx.	residual
AZUFRE	0.050 máx.	residual
SILICIO	0.010 máx.	0.03 a 0.08
COBRE	0.20 máx.	residual
ALUMINIO		menos de 0.015 de preferencia 0.004 mín.

Tabla 4.

LUBRICANTES	PESO POR CAJA BASE
Diocetil Sebacate	0.10 - 0.40 gr
Aceite de semilla de algodón.	0.10 - 0.40 gr

Tabla 5.

ACEITES DE LUBRICACION

la delgada de aceite, para facilitar la alimentación de las hojas a los equipos de fabricación y para prevenir agrietamientos y abrasión durante la fabricación en equipos automáticos. Demasiado aceite, sin embargo puede causar problemas, si la hojalata va a ser laqueada. El aceite por supuesto debe ser comestible, dado que entrará en contacto con productos alimenticios (tabla 5).

2.3 TIPOS DE ACERO BASE PARA HOJALATA.

Existen varios factores que determinan la vida del envase y su resistencia a la corrosión:

El recubrimiento de estaño combinado con el acero base, la soldadura, la fabricación o deformación de la hojalata y finalmente el producto a ser envasado.

La tabla 6 muestra los principales tipos de acero base utilizados en la fabricación de hojalata para envases, así como su composición.

TIPO	% CAR BON.	% Mn	% FOS- FORO.	% AZU- FRE.	% SILI CIO.	% CO- BRE.	NI- TRO GENO
L	0.13	0.60	0.015	0.05	0.010	0.05	0.04
MR	0.12	0.2-0.6	0.02	0.05	0.1	0.20	0.02
MC-T4	0.12	0.2-0.6	0.03-0.05	0.05	0.1	0.20	0.02
MC-T5	0.12	0.2-0.6	0.05-0.11	0.05	0.1	0.20	0.02
MC-T6	0.12	0.2-0.6	0.10-0.15	0.05	0.1	0.20	0.02
N'	0.12	0.2-0.6	0.02	0.05	0.1	0.20	0.02

TABLA 6

El acero tipo 'L' se utiliza cuando se precisa una resistencia superior a la corrosión. Se requiere por su bajo contenido de Cobre y otros elementos residuales dañinos para algunos productos alimenticios, porque se ha encontrado que el Cobre acelera la corrosión provocada por estos productos.

El acero tipo 'MR' es el más ampliamente utilizado para envases es muy similar al tipo 'L', pero con límites crecientes para el Cobre y el Fósforo.

El acero tipo 'MC', con sus diferentes temple, es usado en tapas para productos no-corrosivos tales como cerveza, dado que son relativamente pobres en la resistencia a la corrosión, tiene además un considerable incremento de Fósforo para proporcionar rigidez extra contra las altas presiones a que será sometido por los productos envasados.

El único uso del acero MC-T6, el acero más fuerte, es para tapas de latas cerveceras que están sujetas a presiones internas de 4.22 a 7.04 Kg/cm² durante la pasteurización de la cerveza en las latas selladas.

El acero tipo 'N' también es similar a acero tipo MR, pero con adición de Nitrógeno arriba del 0.02%. Se utiliza para componentes donde se requiere un alto esfuerzo, y proporciona mejor resistencia a la corrosión que el acero tipo MC. Se utiliza para la fabricación de tapas para latas donde se envasarán bebidas suaves (refrescos).

Adicionalmente a los tipos de acero mencionados anteriormente, existen otros como son:

Tipo 'D' este tipo de acero es llamado 'muerto en Aluminio',

(desoxidado) y procesado para mejorar las características de embutido. - Este tipo de acero se utiliza para partes de embutido profundo, o donde se requieren propiedades y libertad para plegados o estirados extensos.

Tipo 2CR. La reciente introducción de un grado de acero más rígido conocido como placa de doble reducción (Double Cold Reduced) ha permitido pesos de calibre más ligeros, para usarse en latas de cerveza, aceite de motor, y jugos de cítricos. Hay 3 temple disponibles de este tipo de acero, estos son designados: 2CR-8, 2CR-9, y 2CR-10 en orden de incremento en fuerza y dureza.

2.4 HOJALATA ELECTROLITICA.

El proceso para la manufactura de la hojalata electrolítica, se muestra en la fig. 24, y puede clasificarse de acuerdo al electrólito usado, y de acuerdo así la línea es horizontal o vertical. Los distintos tipos de electrólito, así como algunas de sus características se muestran en la tabla 7.

Los principales tipos de electrólito son: Acido y Alcalino. Las ventajas del electrólito ácido sobre el alcalino son:

- a).- El estaño se deposita conforme al ión estannoso bivalente (Sn^{++}) en el proceso ácido, contra el ión estánico cuadrático (Sn^{++++}) en el proceso alcalino. De aquí que para depositar una cierta cantidad de estaño, el proceso ácido requiere solamente la mitad de coulombs de electricidad de los requeridos para el proceso alcalino.
- b).- Se pueden usar densidades de corriente mucho más altas, y de aquí que se requiera una área total del electrodo mucho más pequeña.

sistema de suministro
continuo de tiras

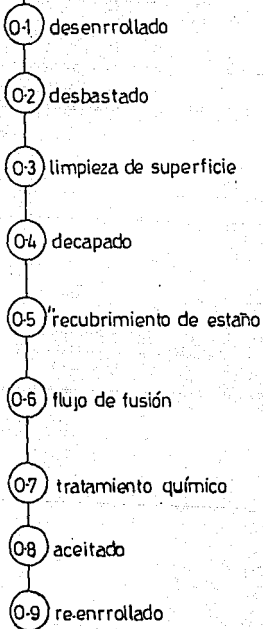


Fig. 24

Proceso de fabricación de hojalata electrolítica

c).- Las eficiencias de corriente de laminado son más altas.

LAS VENTAJAS DEL ELECTROLITO ALCALINO SON:

a).- El control del electrolito es relativamente simple, puesto que no se emplean agentes de adición.

b).- Se requieren materiales de construcción menos costosos, dado que el electrolito no es corrosivo al acero dulce.

c).- El electrolito alcalino, actúa en cierta medida como limpiador y ya no se necesita que la limpieza en la tira sea completa antes del electrolaminado.

	TIPO DE ELECTROLITO		
	FERROSTAN	ACIDO HALOGENO	ALCALINO
Arreglo de los pasos de recubrimiento.	VERTICAL	HORIZONTAL	VERTICAL
Máxima corriente de densidad (Amp/H ²)	400	300	60
Máxima velocidad de la tira (H/min.)	1800	2500	600
Promedio eficiencia cátodo.	97	97	65-90
Solución de recubrimiento re-circulando y refrigerada.	Requerida	Requerida	No requerida
Construcción de celdas de recubrimiento	Celdas Múltiples.	Celdas Múltiples.	Celdas grandes simples.
Requerimiento de espacio.	Mínimo	Intermedio	Máximo
Porcentaje de producción Mundial	65	20-25	10-15

TABLA 7

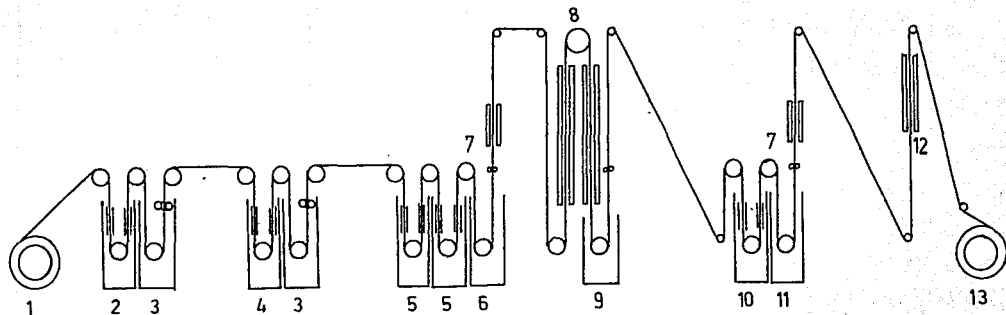
Entre las líneas verticales y horizontal en el proceso electrolítico para la fabricación de hojalata, ninguna tiene ventaja sobre la otra. En la línea vertical por ejemplo, ambos lados de la tira son chapados en una serie de pases verticales, mientras que en la línea horizontal, solo un lado de la tira es chapado en una serie de pases horizontales.

Es probable que la línea horizontal de paso simple, minimice las dificultades de ingeniería y algunos problemas de operación en altas velocidades de la tira. De aquí que la mayoría, si no, es que todas las líneas de alta velocidad (60 m/min.) se han construido con líneas horizontales.

En la fig. 25 se muestra el proceso de fabricación de hojalata de tipo Ferrostan.

Ventajas de la hojalata electrolítica sobre la inmersión en caliente:

- a).- Se tiene un proceso de fabricación continuo, de aquí que se tengan líneas de producción de alta capacidad.
- b).- Se puede controlar el recubrimiento a cualquier espesor deseado, mientras que en el proceso de inmersión en caliente, el mínimo es de 454 gr. por caja base.
- c).- Se pueden tener diferentes espesores de recubrimiento en cada lado de la tira conocido como recubrimiento diferencial. De aquí que el lado de recubrimiento más pesado se puede usar para el interior del envase, y el recubrimiento más ligero en el lado exterior, donde los requerimientos de resistencia a la corrosión son menos severos.
- d).- La hojalata electrolítica tiene un recubrimiento más uniforme que la hojalata de inmersión en caliente.



- | | | | |
|------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------|
| 1.- Desenrollado | 5.- Recubrimiento de estaño | 9.- Templado | 13.-Re-enrollado |
| 2.- Limpieza alcalina | 6.- Jalador | 10.-Tratamiento químico | |
| 3.- Deslavado con agua | 7.- Secador | 11.-Deslavado con agua | |
| 4.- Decapado | 8.- Flujo de fusión | 12.-Aceitado | |

Fig. 25
 Fabricación de hojalata electrolítica
 Proceso tipo "Ferrostan"

e).- Se pueden producir diferentes acabados de superficie, como se muestra en la tabla 8.

TIPO	USOS PRINCIPALES	OBSERVACIONES.
PLATA	LINEAS GENERALES DE LATAS	ACABADO FUNDIDO CON LUSTRE BRILLANTE.
MATE	TAPAS CORONA	ACABADO ASPERO SIN FUNDIR.
ESMERILADO	LINEAS GENERALES DE LATAS.	ACABADO FUNDIDO LIGERAMENTE ASPERO.

TABLA 8

2.5 PRUEBAS DE CALIDAD PARA LA HOJALATA

Para evaluar la calidad de la hojalata aparecieron 4 propiedades de la hojalata electrolítica de las cuales se desarrolló un grado especial de hojalata llamado placa tipo K o SPT. Las pruebas de las 4 propiedades son:

a).- Prueba Alloy-Tin- Couple (ATC). (Prueba entre la aleación y el estaño). La base de la prueba involucra la medición de la corriente que fluye entre la muestra de hojalata, de la cual es Estaño libre ha sido disuelto, y un gran electrodo de Estaño, o cuando ambos han sido sumergidos en un medio de prueba conveniente por un tiempo de 20 horas. El medio de prueba es generalmente jugo de uva desaerado.

b).- Prueba del valor de la solución de hierro. ISV (Iron Solution Value).

Esta prueba involucra la inmersión de un disco de área conocida de hojalata limpiada catódicamente en una solución de ácido sulfúrico y peróxido de hidrógeno por 2 horas a 27° C. La cantidad de fierro disuuelto de la hojalata se mide y da una indicación de la resistencia a la corrosión bajo condiciones donde el estaño es anódico al acero. Que de hecho es la situación que se presenta en el interior de las latas de alimentos.

c).- Prueba del valor del decapado del recubrimiento. Pickle Lag Value — (PLV).

Esta prueba se refiere al retraso del desprendimiento de hidrógeno sobre una muestra completamente desestañada sumergida en una solución ácida, con el objeto de evaluar ciertas características de superficie. — La hoja desestañada se sumerge en ácido clorhídrico y se mide el tiempo que transcurre antes que el hidrógeno se desprenda. Cuanto más corto sea el último período, es mejor la resistencia a la corrosión de la hojalata.

d).- Tamaño del grano del estaño. Tin Grain Size (TGS).

Parece ser una evidencia ascendente que el TGS tiene un efecto sobre la corrosión de la hojalata lisa (que se verá más tarde), y cuanto más pequeño sea el TGS, es más rápida la proporción de desestañado. Las mediciones del TGS son algo subjetivas por lo que es necesario desarrollar este campo. Ver tabla 9.

Estas cuatro propiedades especiales son indudablemente de gran importancia para asegurar que la buena calidad de la hojalata electrolítica se usa para los alimentos más agresivos.

Número del tamaño del micro grano ASTM	Diámetro calculado Promedio de grano		Promedio de distancia de intercepción		Area calculada de sección de grano.		Número de granos Promedio	Granos nominales Por mm ² a 1 X	Granos nominales por pulg. ² a 100 X
	mm	Pulg.	mm	Pulg.	mm ²	Pulg. ²			
		$\times 10^{-3}$		$\times 10^3$	$\times 10^3$	$\times 10^6$			
0	0.359	14.1	0.319	12.6	129	200	21.6	7.75	0.50
0.5	0.302	11.9	0.268	10.6	91.2	141	35.3	11.0	0.707
1.0	0.254	10.0	0.226	8.88	64.5	100	61.0	15.5	1.0
1.5	0.214	8.41	0.190	7.47	45.6	70.7	103	21.9	1.41
2.0	0.180	7.07	0.160	6.26	32.3	50.0	172.3	31.0	2.0
2.5	0.151	5.95	0.134	5.30	22.8	35.4	290	43.8	2.83
3.0	0.127	5.00	0.113	4.44	16.1	25.0	488	62.0	4.0
3.5	0.107	4.20	0.0948	3.73	11.4	17.7	821	87.7	5.66
4.0	0.0898	3.54	0.0797	3.4	8.06	12.5	1380	124	8.0
4.5	0.076	2.97	0.0671	2.64	5.70	8.84	2320	175	11.3
5.0	0.064	2.50	0.0564	2.22	4.03	6.25	3910	248	16.0
5.5	0.0534	2.10	0.0474	1.87	2.85	4.42	6570	351	22.6
6.0	0.045	1.77	0.0399	1.57	2.02	3.13	11000	496	32.0
6.5	0.038	1.49	0.0335	1.32	1.43	2.21	18600	701	45.3
7.0	0.032	1.25	0.0282	1.11	1.01	1.56	31000	992	64.0
7.5	0.027	1.05	0.0237	0.933	0.713	1.10	52500	1400	90.5
8.0	0.0224	0.884	0.0199	0.785	0.504	0.761	88400	1960	128
8.5	0.0189	0.743	0.0168	0.660	0.356	0.552	149000	2810	181
9.0	0.0159	0.625	0.0141	0.555	0.252	0.391	250000	3970	256
9.5	0.0134	0.525	0.0119	0.467	0.178	0.275	420000	5610	362
10.0	0.0112	0.442	0.00997	0.392	0.125	0.195	707000	7940	512
10.5	0.00944	0.372	0.00838	0.330	0.089	0.138	1.19×10^6	11200	724

Tabla 9

Relaciones del tamaño del micro-grano.

Los siguientes estándares usualmente se aplican para la hojalata electrolítica SPT.

- ATC no mayor que 0.12 micro-amp. /cm.² .
- ISV no mayor que 20 micro-gr. de hierro.
- PLV no mayor que 10 segundos.
- TGS no mayor que 9 (grado ASTM).

2.6 PARAMETROS DE CALIDAD DE LA HOJALATA.

Para que los fabricantes de envases que están produciendo latas de alta calidad, con altas velocidades y equipo automático logren su objetivo, deben utilizar hojalata de calidad consistente. Existe un número de estándares relacionados con la calidad de la hojalata. El estándar BS 2920 (1973), es el más reciente y se usará para discutir el impacto de varios atributos de calidad de la hojalata en su manufactura, como son - los siguientes:

a).- FORMA.

Cuando la hojalata se compra en hojas pre-cortadas, la medida de la hoja es seleccionada para adaptarlas al equipo de los fabricantes de latas, para obtener el máximo número de componentes con el mínimo desperdicio. Si las hojas varían demasiado de el estándar, habrá que realizar un podado ó debastado y ésto significa mayor desperdicio.

El estándar BS 2920 (1973) define la máxima desviación de cuadratura como "la desviación de un lado o borde de una línea recta colocada en ángulo recto al borde adyacente de la plaza, tocando una esquina y extendiéndose al borde opuesto". La figura 26 muestra lo anterior y no acepta un rango mayor del 25%.

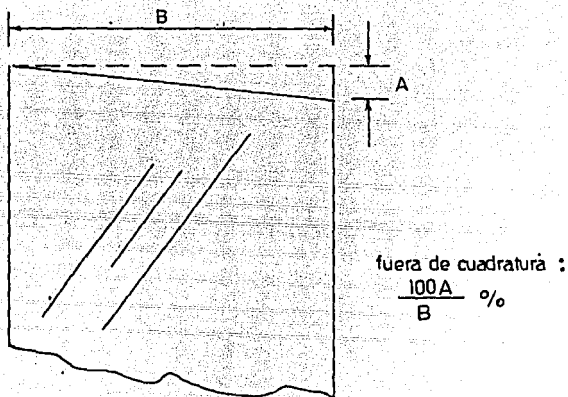


Fig. 26

Desviación de cuadratura

b).- ESPESOR.

La variación del espesor de la hojalata tendrá un efecto en la fuerza del envase terminado. También afectará la eficiencia de manufactura como en operaciones de alta velocidad. Las tolerancias en la variación de espesor, dependen del tamaño del lote, y es frecuente, aunque esas tolerancias corrientemente aceptadas son muy grandes, que en algunos de los más recientes procesos de fabricación de envases se tiene que realizar un control de espesor mucho más ajustado, y el fabricante de las latas frecuentemente tiene que pagar un precio mayor por tal material.

c).- TEMPLE.

El temple indica un número de características inter-relacionadas, incluyendo el tamaño del grano, esfuerzo último y de cedencia, elongación rigidez dureza etc., es sin embargo una prueba simple y sencilla la que da la medida de las propiedades de fabricación de la hojalata, y es por esto de valor para los fabricantes de envases cuyos procesos de conversión involucran algún grado de dobléz ó estiramiento.

El valor temple de la hojalata se expresa usualmente como la dureza superficial medida con la escala Rockwell 30T. La tabla 10 da el rango de algunos valores de temple con una breve descripción del uso típico para un grado particular.

Otras medidas de la realización de la fabricación son las pruebas de doblado y copado. La prueba de doblado figura en la BS (British Standard) donde el equipo preferido es el probador Jenkins. Las pruebas de copado se usan para hojalata que será sujeta a embutido profundo o proceso de estampado.

d).- PESO DEL RECUBRIMIENTO DE ESTAÑO.

El estaño es obviamente un componente importante de la hojalata y en fechas recientes ha venido a ser un componente muy costoso. En la tabla 11, los estándares de recubrimiento son definidos para varios grados de hojalata.

Los pesos de recubrimiento de Estaño juegan importante papel en el proceso de fabricación de envases. La mayoría de las latas de hojalata comúnmente se producen con cilindros soldados y la soldabilidad de la hojalata depende de un número de factores incluyendo la cantidad de estaño libre en la capa de recubrimiento de estaño.

e).- ACABADO SUPERFICIAL.

Tradicionalmente la mayoría de la hojalata se suministra "brillante" lo cual es un atractivo acabado para el consumidor final. En años recientes el acabado áspero fué introducido y proporciona la ventaja de que el daño superficial al relativo recubrimiento suave de estaño se reduce. El término "acabado áspero" se aplica al acero base el cual, deliberadamente se aspereza durante el rolado de temple.

f).- PESOS DE PELICULA DE ACEITE.

Una delgada y uniforme película de aceite (usualmente di-octil-sebacate) se aplica a la hojalata electrolítica tanto por electrolisis como por inmersión, y el peso de la película de aceite proporciona lubricación y resistencia a la corrosión.

TEMPLE DESIGN.	DUREZA ROCKWELL 30T	TIPO DE ACERO	CALIDAD	APLICACIONES
T-1	46-52	L,MR,D	Extra Embutido Prof.	Muy Ductil apropiado pa ra troquelado Prof.co nos boquillas recipien tes profundos y troque lados de formas compli cadas.
T-2	50-56	L,MR,D	Estampado Profundo.	Pequeñas latas rectangu lares, ovaladas para pe ces, carnes, tapones y otros requerimientos pa ra embutido profundo mo derado.
T-2 ^{1/2}	50-58	L, MR,D	Estampado Profundo.	Tapones, y otras aplica ciones donde es requeri do moderado embutido pro fundo y dureza.
T-3	54-60	L,MR,D	Ordinaria	Calidad para propósitos generales tapas, fondos y cuerpos de latas.
T-4CA*	58-64	L,MR	Ordinaria	Tapas y cuerpos de la tas donde es requerido alto esfuerzo compara tivo.
T-5CA*	62-68	MR	Ordinaria	Tapas de latas y cuer pos donde se combine al ta dureza, esfuerzo y buena formalidad.
T-6CA*	67-73	MC	Nitrogeni zado.	Tapas para latas de cer veza y APL. que requie ran alta dureza y es fuerzo.

TABLA 10

	C L A V E		PESOS NOMINALES DE RECUBRIMIENTO	PROMEDIO MÍNIMO DE PESO DE RECUBRIMIENTO.
	Actual	Anterior	Gm/M ²	Gm/M ²
Hojalata	H 11/11	(H 100)	22.4	19.6
Inmersión	H 14/14	(H 125)	28.0	25.2
en	H 17/17	(H 150)	33.6	30.8
Caliente	H 20/20	(H 175)	39.2	32.5
	H 22/22	(H 200)	44.8	37.0
Hojalata	E 2.8/2.8	(E 25)	2.8/2.8 (5.6)	4.9
Electrolítica	E 4.2/4.2	(E 38)	4.2/4.2 (8.4)	7.6
recubrimiento	E 5.6/5.6	(E 50)	5.6/5.6(11.2)	10.5
igual en sus-	E 8.4/8.4	(E 75)	8.4/8.4(16.8)	15.7
lados.	E 11.2/11.2	(E 100)	11.2/11.2 (22.4)	20.2
	E 14/14	(E 125)	14/14 (28)	25.8
Hojalata	D 5.6/2.8	(D 50/25)	5.6/2.8	5.05/2.25
Electrolítica	D 8.4/2.8	(D 75/25)	8.4/2.8	7.85/2.25
recubierta	D 8.4/5.6	(D 75/50)	8.4/5.6	7.85/5.05
diferencialmente	D 11.2/2.8	(D 100/25)	11.2/2.8	10.1/ 2.25
	D 11.2/5.6	(D 100/50)	11.2/5.6	10.1/ 5.05
	D 11.2/8.4	(D 100/75)	11.2/8.4	10.1/ 7.85
	D 15.1/2.8	(D 135/25)	15.1/2.8	14.0/ 2.25
	D 15.1/5.6	(D 135/50)	15.1/5.6	14.0/ 5.05

TABLA 11

La hojalata con pequeñas proporciones de aceite incrementa los problemas de fabricación resultantes de alta fricción, y demasiado aceite puede causar bloqueo en las pilas de laminas de hojalata, la basura se adhiere, y en la mayoría de los casos se afectará la adhesión del recubrimiento orgánico.

Los pesos de la película de aceite deben estar en el rango de 6 a 11 mgm/M².

g).- SOLDABILIDAD.

Como se ha mencionado, la soldabilidad de la hojalata es un importante atributo de calidad, pero es raramente medido como una rutina. Las pruebas sencillas involucran el doblado de una tira de hojalata alrededor de un mandril para producir un espacio capilar entre los bordes de la tira, y entonces se sumerge en un baño de soldadura fundida. La altura que se levanta en el espacio capilar se toma como una medida de la soldabilidad.

Se utilizan otras pruebas en las que la medida del grado de expansión de una cantidad fija de soldadura sólida en un tiempo dado sobre una muestra de hojalata calentada. Si pruebas de soldabilidad más realistas, se pueden proyectar, podrían ser de considerable interés para la industria de la hojalata.

g).- LAQUEABILIDAD.

La hojalata se recubre frecuentemente con materiales orgánicos para propósitos de protección o decoración. Es usual para la hojalata recubrirse en forma de hojas y el recubrimiento posteriormente se cura u hornea en la placa por medio de calor. Un cohesivo y uniforme recubrimiento se de

be efectuar totalmente, ya que frecuentemente los defectos superficiales de la hojalata aumentan las discontinuidades del recubrimiento.

La hojalata recubierta subsecuentemente se convierte en envases y durante este proceso el recubrimiento se debe adherir a la hojalata sin agrietaduras o decapados. Hay un número de atributos de calidad los cuales afectan la adhesión del recubrimiento, tales como el acabado superficial, el peso de la película de aceite y el tratamiento de pasivación, que consiste en formar en la superficie del depósito de estaño una capa de óxidos de estaño y de cromo, lo más estable posible a la temperatura ambiente y a las temperaturas de tratamiento en las cámaras calentadoras. No obstante esta capa de pasivación no debe ser demasiado estable ya que ello impediría una ejecución correcta de las soldaduras. Esta pasivación se realiza, ya sea por vía puramente química por paso de la banda en una solución de ácido crómico o una solución de bicromato seguida de un lavado y un secado, o bien por método electroquímico. Este último método consiste en una reducción catódica en un baño de bicromato, de la capa de óxido que se ha formado después de la fusión.

Desafortunadamente no existe una prueba simple, la cual pueda predecir la laqueabilidad de la hojalata y nuevamente si tal prueba se puede proyectar, sería de considerable valor para productores y consumidores de hojalata.

1).- DECOLORACION.

La hojalata es frecuentemente sujeta a calor en el ciclo de recubrimiento y también durante la soldadura. Con placas de inmersión en caliente la decoloración por calor fué frecuentemente un problema, y se producían manchas amarillas o cafés. La decoloración se piensa que es el resultado de la reacción entre el óxido de estaño y el aceite de la superficie, con

tra la hojalata. Así que mientras más grande es la película de óxido superficial, es más grande el grado de decoloración. De hecho, con hojalata de inmersión en caliente la decoloración superficial puede ocurrir en el almacenaje, especialmente bajo altas condiciones ambientales de temperatura.

2.7 ATRIBUTOS DE CALIDAD DE LA HOJALATA EN FUNCION DE SU USO FINAL.

Un envase se propone o se proyecta, para proteger sin afectar su contenido, Todos los materiales para envasado tienen algunas limitaciones; el papel y el plástico son permeables a los gases y a la humedad del vapor en un mayor o menor grado; el vidrio es impermeable, es inerte pero es frágil y permite la penetración de la luz; los metales son impermeables a los gases, opacos a la luz, irrompibles, pero pueden reaccionar con algunos alimentos o con el medio ambiente. Un número considerable de esfuerzos se han realizado a través de los años, estudiando las interacciones de los metales, que pueden ser denominados bajo el título general de corrosión. A medida que se comprende más acerca de estas reacciones de corrosión, los productores de hojalata y los fabricantes de envases están en una mejor posición para producir un producto más satisfactorio.

2.8 CORROSION EXTERNA.

En una atmósfera seca, la hojalata muestra pequeñas evidencias de corrosión, pero en presencia de la humedad, la oxidación tomará lugar en las discontinuidades de la capa de recubrimiento de estaño.

Es un hecho que mientras menor es el peso de recubrimiento de estaño, es más alta la cantidad de hierro que se expone, y en consecuencia es más alta la tendencia a la formación de óxido. En esas partes del mundo donde la alta humedad relativa es común, la corrosión por oxidación es un problema y en consecuencia, usualmente se especifican pesos altos de re

cubrimiento de estaño para reducir el riesgo de oxidación externa o de envases llenos.

Existen un número de pruebas disponibles que dan una medida de la cantidad de hierro expuesto sobre una muestra dada de hojalata, pero desafortunadamente todas son subjetivas, de manera que son necesarios cuidados y experiencia considerables cuando se interpretan los resultados.

El peso de la película de aceite y el tratamiento de pasivación influirán en la resistencia a la oxidación, en un grado dado de hojalata, aunque estos parámetros son más importantes cuando se considera la realización de hojas planas de hojalata.

Un proceso de fabricación de envases involucra algún grado de deformación de hojalata y como resultado el recubrimiento de estaño se altera, dando origen a una mayor exposición del hierro. Obviamente mientras más grande es el grado de deformación, es más grande la cantidad de hierro expuesto, y para algunos componentes de herramienta muy pesada, otras formas de protección son requeridas.

Otro factor que afecta la corrosión es la manera en que los envasadores de alimentos manejan y distribuyen los envases llenos. Las latas para alimentos procesados son esterilizadas en vapor o agua caliente, condiciones que son muy propicias para la corrosión externa. La contaminación del exterior de la lata por alimentos, salmuera o jarabe puede también inducir la oxidación de hojalata de buena calidad.

Las causas de la oxidación externa son muchas, pero es ligero decir que la mayoría de las causas no dependen de los defectos de calidad de la hojalata proporcionados desde luego o que el grado correcto de la hojalata ha sido seleccionado en primer lugar.

2.9 CORROSION INTERNA.

Es mucho más complejo este tipo de corrosión que involucra la interacción de los alimentos dentro del envase con la hojalata. Los alimentos por ser un producto natural, varían enormemente en composición de alimento a alimento, y también entre un alimento dependiendo en la variedad, condiciones de crecimiento, preparación, etc.

Los fabricantes de envases tienden a clasificar los alimentos dentro de diferentes y amplios grupos dependiendo de su reacción esperada con la hojalata, y entonces confeccionan sus especificaciones de envases para satisfacer el producto que será envasado. Esta elección gira alrededor de dos consideraciones básicas que son: el hecho de que si la hojalata necesita ser laqueada interiormente o simplemente se deja lisa (sin laqueado).

A continuación siguen decisiones secundarias; por ejemplo en el caso de usar laqueado interno, que tipo de lata usar, o si no lleva laqueado, que grado de hojalata utilizar.

Podría resultar sencillo si las latas de laqueado interno pudieran utilizarse para todos los alimentos, pero este no es el caso, dado que algunos alimentos se deterioran en propiedades de color o en sabor en dichas latas.

Para definir mejor los requerimientos de la hojalata, los siguientes breves comentarios son relevantes.

a).- ALIMENTOS SECOS.

En gran mayoría de los casos los alimentos secos no reaccionan con la hojalata, y en un envase herméticamente sellado tienden a actuar

como desecantes, de tal forma que la oxidación interna no es un problema. La hojalata lisa es por esto satisfactoria.

b).- ALIMENTOS ACIDOS.

Esta categoría abarca la mayoría de las frutas, por ejemplo: frutas, uvas, ciruelas rojas, las cuales deben empacarse en latas laqueadas, en una disolución de estaño. Resultando de la reacción entre las frutas - ácidas y la hojalata, que se reducen los pigmentos de anthocyanín, así - como la alteración del color de la fruta. Las frutas que no contienen pigmentos de anthocyanín, por ejemplo: piñas, duraznos, manzanas, mango, no demandan generalmente protección de estaño y por esto se usan las latas - lisas. De hecho la disolución de estaño es benéfica porque ayuda a mantener un color brillante y también imparte un sabor estañado característico.

La corrosión de la hojalata es un proceso electroquímico y el papel que el par estaño-hierro, juega, aún no está completamente claro.

Dos principios para guiarse tienen que ser establecidos; primero - que la corrosión del estaño es minimizada cuando el aire (o más específicamente el Oxígeno) es excluido de la lata; y segundo, que el estaño da - protección catódica al acero. Así, en un envase de hojalata lisa, el estaño puede dar considerable protección catódica al acero, mientras que en - un envase laqueado, se proporciona una pequeña protección catódica.

c).- ALIMENTOS NO-ACIDOS.

Estos deben ser categorizados en una serie de subgrupos donde la elección de latas lisas o laqueadas depende de lo propenso del producto a "manchas de azufre". Cuando los alimentos con alto contenido de proteínas se calientan por ejemplo; durante la esterilización, el derrumbe de -

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

proteínas ocurre en eslabones sulfúricos, liberando compuestos de azufre.- Estos compuestos de azufre reaccionan con la hojalata y producen manchas de azufre que varían en color e intensidad. Al final se produce sulfuro de estaño que varía de un azul fijo y firme a una mancha café sobre la superficie de la hojalata que raramente es transferido a los alimentos. En el peor de los casos se produce el sulfato de hierro el cuál es un depósito negro de desprendimiento amorfo que frecuentemente se transfiere a los alimentos.

d).- PRODUCTOS LACTEOS.

Cualquiera de las latas, laqueadas o lisas se utilizan, aunque las lisas generalmente se prefieren. El tratamiento de pasivación es importante.

e).- PRODUCTOS MARINOS.

La mayoría de los peces tienen alto contenido de proteínas y de azufre, por esta razón se eligen las latas laqueadas.

f).- CARNES.

Aquí también hay alta presencia de azufre y por lo tanto se prefieren las latas laqueadas.

g).- VEGETALES.

Las latas laqueadas con lacas absorbentes de azufre, se utilizan para; chicharos, maíz, frijol, etc; mientras que latas lisas se usan para; papas, zanahorias y champiñones.

Lo anterior no es una lista exhaustiva y muchos otros factores afectan la elección del envase para alimentos en particular. Por tanto,

las especificaciones del envase continúan siendo revisadas a la luz de las tendencias en legislación, y también por las condiciones de los cambios de mercado. Aún cuando los cambios en los alimentos, especialmente prácticas modernas de agricultura, y la corrosión inducida de nitrato resultante de las técnicas de fertilización es la causa de que muchos fabricantes de envases alteren sus especificaciones de las latas, de latas interiormente lisas a latas interiormente laqueadas para algunos alimentos.

2.10 RECUBRIMIENTOS USADOS EN LA HOJALATA.

El recubrimiento orgánico, usualmente llamado esmalte en la industria de la lata, fué utilizado para proporcionar la protección adicional requerida. Previamente, los recubrimientos orgánicos se usan por dos razones básicas, el llamado esmalte-C contenido ZnO , fué usado para protección contra la formación de hierro oscuro, y sulfuro de estaño del azufre en ciertos alimentos como el maíz. Los recubrimientos oleoresinosos, conteniendo resinas naturales y aceites de secado, se usaron para minimizar la decoloración de ciertos productos tales como las cervezas. En una lata de hojalata lisa, las frutas de color rojo rápidamente se blanquean a un inapetecible color gris opaco. Mientras que un interior con recubrimiento orgánico conserva el color.

La hojalata electrolítica de 1/4 de lb. (113.5 gr.) con un recubrimiento orgánico se desarrolló para dar servicio adecuado de vida en la mayoría de los usos, a un costo más bajo que la hojalata por inmersión en caliente. Sin embargo no existe un recubrimiento universal sobre un solo grado de acero recubierto de estaño que cubra económicamente todos los requerimientos de servicio. En lugar de eso, un gran número de

recubrimientos interiores orgánicos o esmaltes se han desarrollado, muchos de ellos basados sobre polímeros sintéticos, cada uno de los cuales muestra virtudes específicas para ciertas aplicaciones. Así, las latas chapadas de estaño son trazadas para satisfacer los requerimientos específicos, para cada producto al costo más bajo posible.

Los recubrimientos orgánicos para latas (esmaltes) son: oleorresinosos fenólicos, vinil o epoxi-resinosos, o modificaciones de éstos. - El esmalte de la lata debe ser:

- a).- Seguro de un punto de toxicidad y libre de olor o sabor que pueda afectar adversamente los productos a ser envasados.
- b).- Resistir a los productos y proporcionar la fortaleza requerida entre producto y metal.
- c).- De pronta aplicación y rápido curado en los varios tipos de hoja latas comercial para fabricación de latas.
- d).- Resistentes a las acciones mecánicas a que estarán sujetos durante la fabricación y su uso posterior.
- e).- De bajo costo.

El recubrimiento orgánico se aplica a un espesor controlado dentro de hojas grandes de hojalata, comprendiendo múltiples cópselos de cuerpos de latas; dejando márgenes desnudos donde es necesario, para soldadura subsecuente de las costuras laterales. El recubrimiento es curado por cocimiento, y la lata entonces se fabrica; mientras que algunas fracturas o agrietamiento del recubrimiento pueden ocurrir.

Para minimizar la cantidad de metal desnudo que puede ser así expuesto, el área de la costura lateral se recubre posteriormente con una

rociada en forma de lista de recubrimiento y en latas de cerveza y bebidas suaves con un recubrimiento final que se rocía interna y totalmente.

La corrosividad de productos alimenticios varía, no solo entre productos sino entre clases de productos, como ya se mencionó, y a veces varía entre lotes del mismo producto.

Estableciendo que cada alimento tiene sus propias características de corrosión, los productos pueden todavía ser clasificados en términos de relativa corrosividad de acuerdo a los grupos de la tabla 12.

GRUPO 1 MUY CORROSIVOS	GRUPO 2 CORROSION MODERADA	GRUPO 3 CORROSION MEDIA	GRUPO 4 FUERTES DESESTAJADORES
JUGO DE MANZ.	MANZANAS	CHICHAROS	FRIJOLES VERDES
CEREZAS ROJAS	DURAZNOS	MAIZ	ESPINACAS
ZARZAMORAS	FRUTAS CI TRICAS.	CARNES	ESPARRAGOS
	JUGO DE - TOMATE.	PESCADO	

TABLA 12

Entre cada uno de estos grupos existen grados de corrosividad, los cuales necesitan el uso de placas de diferente peso de recubrimiento de estaño. Posteriormente los grupos entre el 1 y el 3 tienen requerimientos definidos del acero para su realización satisfactoria, siendo los más críticos o requeridos para el grupo 1, y los menos para los productos del grupo 3.

Los productos del grupo 4 no son afectados por la condición de la superficie del acero, al grado mostrado en los otros grupos.

Especificaciones de recubrimiento de Estaño típico para productos en estos grupos, son dadas en la tabla 13.

PRODUCTO	CUERPO:	TAPAS:
<u>Grupo 1 Muy Corrosivo</u>		
Jugo de Manzana	1.50-lb esmaltado (a) No. 100 esmaltado	1.50-lb esmaltado No. 100 esmaltado
Cerezas Rojas	1.50-lb esmaltado	1.50-lb esmaltado
Zarzamoras	1.50-lb esmaltado	1.50-lb esmaltado
Ciruelas	1.50-lb lisa	1.5 -lb esmaltado o lisa.
<u>Grupo 2 Corros. Moderada.</u>		
Manzanas	No. 100 Lisa (b)	No. 25 esmaltado
Duraznos y Peras	" " "	No. 25 esmaltado
Fruta Ctrica	" " "	No. 100 Lisa
Jugo de Tomate	" " "	No. 25 esmaltado
<u>Grupo 3 Corrosión Suave.</u>		
Chicharos y Maiz	No. 25 esmaltado	No. 25 esmaltado
Carnes	No. 25 esmaltado (c)	" " "
Pescado	No. 25 esmaltado (c)	" " "
<u>Grupo 4 Fuertes Desesatanadores.</u>		
Frijoles Verdes	1.25 - lb lisa	No. 25 esmaltado
Espinacas	1.25 - lb lisa	" " "
Esparragos	1.25 - lb lisa	1.25 lb lisa.

Tabla No. 13.

En la tabla anterior se definen las características de los grupos como sigue:

- a).- 1.25-lb y 1.50-lb son placas de inmersión en caliente.
- b).- No. 100 y No. 25 son 1-lb y 1/4 lb respectivamente electrolíticas.
- c).- Para su manufactura se requieren algunos factores en el uso de placas de alto peso de recubrimiento de estaño, para algunas latas en este grupo de productos.

La hojalata electrolítica es comercialmente aceptable para los grupos 1, 2 y 3, aunque la vida de la carcasa es algo menos que para hojalata por inmersión en caliente. Sin embargo, actualmente la placa de inmersión en caliente es empleada para productos del grupo 4.

Los envases lisos de hojalata, se pueden usar para alimentos que reaccionan con estaño y hierro cuando el acero base se proporciona para los alimentos, y el recubrimiento de estaño viene a ser anódico al acero y es atacado preferentemente. Bajo estas circunstancias el servicio o vida de la carcasa varía en relación al espesor del recubrimiento de estaño.

2.11 PROPIEDADES MECANICAS DEL ACERO BASE.

Las características de los materiales, son importantes dentro de cualquier proceso de conformación. Su habilidad para ser maquinado, su resistencia al impacto, la facilidad de deformado, etc., son algunas de las propiedades básicas requeridas de los materiales.

En el caso del acero base para la fabricación de la hojalata, dichas propiedades son importantes, dado que se requieren productos (tipos

de hojalata) con características para cada aplicación, en donde dichas aplicaciones varían conforme al tipo de producto que va a ser empacado, al método que se usará en la fabricación del envase, el recubrimiento -- más adecuado y las condiciones de ambiente existentes para evitar la corrosión.

Por lo anterior sería un tanto difícil enumerar las propiedades mecánicas de cada tipo de acero en especial. Pero es significativo mostrar las siguientes propiedades, (tabla 14) considerando que la mayoría de los aceros para la fabricación de hojalata para envases, poseen propiedades similares.

2.12 TRATAMIENTOS TERMICOS DEL ACERO BASE.

Dos de los tratamientos principales para reducir tensiones, o mejorar características de superficie o de estructura en los aceros utilizados en la fabricación de la hojalata, se mencionan enseguida.

a).- RECOCIDO. Esta operación, que tiene por objeto suprimir las tensiones originales por la laminación en frío, se efectúa previa eliminación en una línea de desengrase, del aceite de palma que persiste en la banda después de la laminación en frío.

Dicha operación se lleva a cabo en la mayor parte de los casos - en hornos de campana que presentan algunos problemas por ejemplo: imposibilidad de sobrepasar los 690° C, falta de homogeneidad del recocido entre las espiras exteriores e interiores de los rollos y, sobre todo larga duración de la operación, que inmoviliza el rollo durante cerca de 6 días.

Tipo de acero	Esfuerzo de cedencia.		Resistencia última a la tensión.		Elongación uniforme	N	K	Elongación total	Dureza	Rugosidad de superficie		Tamaño de grano	
	Kg/m ²	MPa	Kg/m ²	MPa	%		Kg/m ²	MPa (en 50.8mm)	R(30T)	Min	mn	ASTM	
Temple T-1 acabado rugoso	38.6	266	48.1	332	19.1	0.124	69.7	481	29.4	48-54	66	1.7	8
Temple T-1 acabado liso	28.0	193	48.4	334	23.4	0.22	84.3	581	35.0	48-50	12	0.3	8
Temple T-4 acabado rugoso	46.6	321	59.8	412	12.5	0.11	84.7	584	20.5	56-60	68	1.7	10.5
Temple T-4 acabado liso	49.6	342	59.4	410	20.0	0.165	93.3	643	25.5	58-60	12	0.3	10.5
DR-9 acabado rugoso	87.9	606	87.9	606	0	0	-	-	1.0	70-75	38	1.0	10 (elarg.)

N = exponente de endurecimiento por deformación, K = Coeficiente de resistencia

Tabla No. 14
Propiedades de las Variables del Acero Base.

Este tipo de recocido ha sido mejorado, en primer lugar, con el objeto de impedir cualquier oxidación superficial por empleo de un gas - de atmósfera neutra, el HNX; y en segundo lugar por la creación de bases - con ventilador incorporado para disminuir el tiempo de enfriamiento.

Un procedimiento más reciente, el recocido continuo, hace circular la banda de acero en un horno, seguido de una instalación de enfriamiento también en atmósfera controlada (HNX). Naturalmente este sistema permite una penetración y una evacuación de calor más rápidas y regulares que en el caso de las bobinas. La dureza obtenida es la misma en el centro de la banda que en sus bordes, cosa que es más difícil de obtener cuando el recocido se efectúa en rollos en horno de campana.

El horno de recocido continuo permite alcanzar con suma rapidez los 700° C, lo cual facilita la cristalización y su igual progresión en toda la anchura de la banda. Además, el tiempo de inmovilización de los rollos queda disminuido en proporciones muy apreciables. Finalmente con este procedimiento se obtienen bandas de un temple elevado, denominado - TU, que se sitúa al nivel del T5, sin necesidad de recurrir a una modificación en la composición química del acero.

B).- LAMINACION DE TEMPLE (Skin-Pass).

Su papel es bastante complejo y tiene una doble misión.

La laminación de temple tiene por objeto dar cierta rigidez al metal, que deja de ser suficiente a su salida del recocido. Esta operación permite evitar la aparición de zonas onduladas al curvar los cuerpos de las latas de conservas, por la supresión de una discontinuidad en la deformación cuando se sobrepase el límite elástico.

Su segunda misión consiste en obtener el acabado superficial y - la planeza deseada.

Esta operación de endurecimiento consiste en una especie de laminación en seco, en un laminador especial formado por dos bastidores en - tandem, con una tensión controlada importante de la banda entre los dos - bastidores.

Una vez terminada esta operación la banda presenta un alargamiento de aproximadamente 1.5% y posee entonces la dureza superficial o temple deseado.

Por regla general este laminador posee cilindros lisos en el segundo bastidor lo cual proporciona un acabado brillante en la superficie de la banda. Pero en ciertos casos, en lugar de ser lisos, estos cilindros quedan granallados o bien estriados, por medio de una muela especial, con el objeto de dar aspectos diferentes a esta superficie. Ver tabla 8.

Las propiedades de aluminio puro son de vital importancia cono—
cerlas, ya que constituyen la base del estudio de las aleaciones que de—
este metal se derivan y cuya aplicación industrial es bastante diversa e
importante por las grandes ventajas que ofrece, debido a sus cualida—
des de ligereza, formabilidad y resistencia a la corrosión. Las propieda—
des en estudio son las que a continuación se describen.

3.1.- PROPIEDADES FISICAS

Las características atómicas del aluminio son:

- Número atómico 13
- Masa atómica 26.974
- Radio atómico 1.4286 Å (1)
- Distancia entre átomos 2.858 Å

Se conocen algunos isótopos artificiales radiactivos de masa ató—
mica 24,25,26 y 29 con un tiempo corto que oscila entre 3 seg. a 7 min.

La estructura cristalográfica del aluminio es cúbica de caras —
centradas de malla, 4.04912 Å para una pureza del 99.99% a 20°C.

Las propiedades físicas del aluminio vienen dadas en la tabla —
15.

densidad a 20°C gr/cm. ³	punto de función a presión. atm. 20°C.	punto de ebu- llición a pre- sión atm. 20°C	calor de fu- sión cal/gr	conductivi- dad térmica 20°C
2.7	660°C	2270°C	92	0.52

Tabla 15.- Propiedades físicas del aluminio puro.

(1) Å= angstrom, unidad de
longitud (10^{-10} m).

Debido a sus propiedades el aluminio tiene un buen comportamiento en el proceso de fundición, por su poca volatilidad.

Tiene una excelente conformación en frío a causa de su gran ductilidad y maleabilidad, presentando el inconveniente, de disminuir su resistencia mecánica - conforme aumenta la temperatura. El aluminio es capaz de dar soluciones de dominio amplio con una gama de elementos tales como Mg, Cu, Si, Zn, etc., lo cual - suele ser favorable. La coloración del aluminio puro es blanca ligeramente azulada, presentando facilidad en el pulido de su superficie, su dilatación es aproximadamente el doble de la de hierro; teniendo un coeficiente de dilatación lineal entre 20 y 100°C de 24×10^{-6} mm por cada °C aproximadamente. En lo que respecta a sus propiedades magnéticas este metal es débilmente paramagnético con una susceptibilidad de 10.60×10^{-6} C.G.S. El magnetismo, del aluminio aumenta cuando es aleado con el hierro.

3.2.- PROPIEDADES MECANICAS.

El aluminio posee propiedades muy importantes, tales como la resistencia a la tensión, módulo de elasticidad, características de embutido, ductilidad, y algunas otras propiedades de gran interés en nuestro estudio, dichas propiedades - son las descritas a continuación.

Cuando el aluminio es recocido y sometido a una fuerza de tracción pequeña, sufre deformaciones importantes antes de fracturarse a causa de su gran tenacidad y excelente ductilidad. La tabla 16 nos da las propiedades del aluminio de 99.- 99 % de pureza, para los estados de recocido y rolado en frío .

materiasl	edo. de la aleación	esfuerzo último a la tensión $N\text{-}m^{-2} \times 10^6$	esfuerzo de cedencia $N\text{-}m^{-2} \times 10^6$	elongación en %	dureza brinell
Aluminio 99.99% de pureza	recocido	46,886	11.7215	60	17
	rolado en frío.	112.3885	106.01830	5	27

Tabla 16 propiedades del aluminio con pureza. del 99.99 % en estado de recocido y rolado en frío.

La tabla 17 nos muestra los valores de esfuerzo (σ) y de formación (ϵ), bajo tensión para el aluminio con 99.99 %, deformado 20°C.

MATERIAL	ϵ , %	σ , Kg/mm^2	ϵ_2 , %	σ_2 , Kg/mm^2	$\frac{d\sigma}{d\epsilon}$	E Kg/mm^2
ALUMINIO	1.6	2.3	1.6	2.6	80	7900

Tabla 17.- valores de esfuerzo deformación del aluminio puro, deformado a una temperatura de 20°C.

EFECTOS DEL TAMAÑO DEL GRANO.

El efecto del tamaño del grano sobre el límite elástico es muy marcado como se aprecia en la fig. 27, para un aluminio del 99.99%. En la cual el límite elástico varía de 0.15 hasta 0.35 Kg/mm^2 , cuando el tamaño del grano se incrementa de 2 a 50 μm . Para un monocristal la tensión tangencial crítica es 0.09 Km/mm^2 .

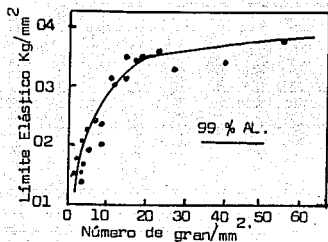


Fig. 27.- Efecto del tamaño del grano sobre el límite elástico del aluminio puro.

La dependencia de la tensión de fluencia inicial (σ_i), ó de la tensión final (σ_f), en relación al tamaño del grano, está dada por la sig. relación:

$$\sigma_i = \sigma_f + K_i \cdot d^{-m}$$

donde:

d = Diámetro del grano.

σ_f = tensión de fricción

K_i = Una constante asociada con la propagación de la deformación a través de los límites de grano.

m = coeficientes de sensibilidad.

La figura 28, muestra las curvas esfuerzo-deformación a temperatura ambiente para un aluminio policristalino de 99.99 % de pureza con diferentes tamaños de grano.

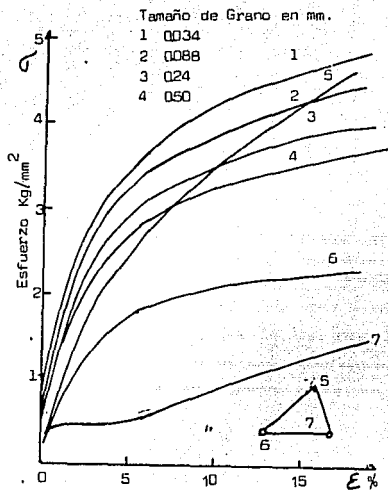


Fig. 28 Efecto del tamaño de grano sobre las curvas de tracción de Al puro.

El aluminio con mayor tamaño de grano se endurece menos que el de grano fino. A la temperatura ambiente el aluminio policristalino no presenta una etapa 2, dando curvas parabólicas.

VELOCIDAD DE DEFORMACION.

La ecuación que nos relaciona la tensión de influencia a temperatura y velocidad de deformación, es de la forma:

$$\sigma_{\epsilon, T} = C_2 \dot{\epsilon}^m$$

Donde:

m-Coeficiente de sensibilidad a la velocidad de deformación - -
(strain rate sensitivity)

C_2 -Una constante.

$\sigma_{\epsilon, T}$ -tensión de fluencia

$\dot{\epsilon}$ -velocidad de deformación

En la fig. 29 podemos ver, la relación del coeficiente de sensibilidad a la velocidad de deformación como una función de la temperatura.-

Si las tensiones de fluencia antes y después del cambio, son: σ_1 y σ_2 , m estará dada como sigue:

$$m = \frac{\log (\sigma_2 / \sigma_1)}{\log (\dot{\epsilon}_2 / \dot{\epsilon}_1)}$$

Donde:

σ_1, σ_2 tensiones de fluencia
 $\dot{\epsilon}_1, \dot{\epsilon}_2$ velocidades de deformación

La fig. 30 muestra el diagrama esfuerzo-deformación a diferentes temperaturas con velocidad de deformación de 4.38 cm/seg.

En la fig. 31.- Se ve la influencia de la velocidad de deformación sobre la tensión.

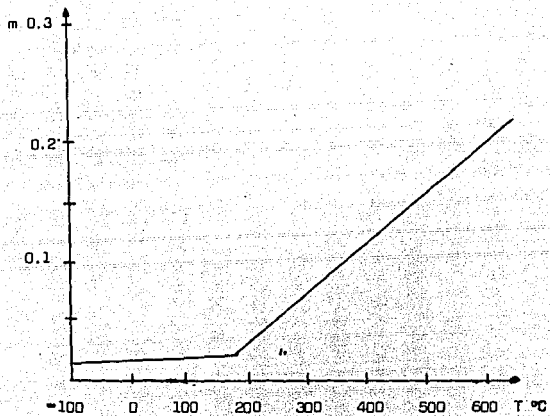


Fig. 29 Variación del coeficiente de sensibilidad a la velocidad de deformación con la temperatura.

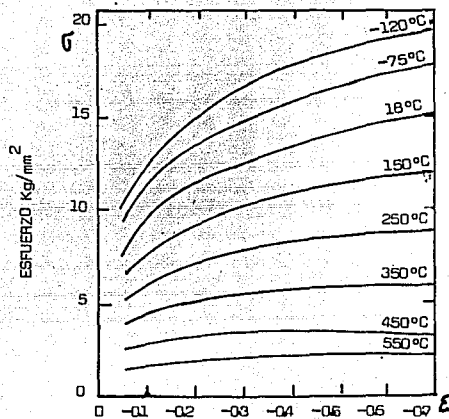


Fig. 30 Curvas tensión-deformación para el Al a varias temperaturas, obtenidas con un plastómetro a leva, a velocidad de deformación de 4.38/seg.

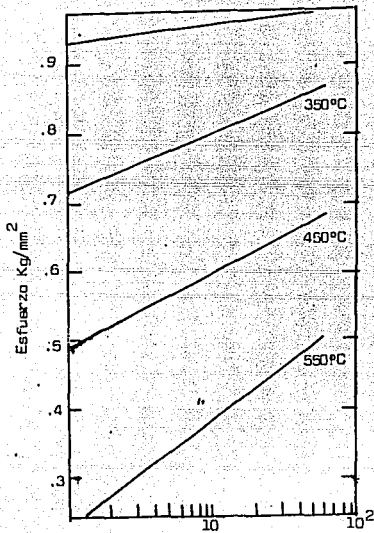


Fig. 31 Efecto de la velocidad de deformación sobre la tensión necesaria para comprimir Al hasta una reducción de 40° en alto ($\epsilon = -0.51$), a varias temperaturas.

ACRITUD.-

La acritud, es el crecimiento de una precipitación química y agregación de partículas sólidas, por cristalización de nuevas ceras en la superficie del material.

La acritud siempre va acompañada de una dureza posterior en el material en que se presenta. Cuando el aluminio se deforma en frío ya sea por laminado ó trefilado, sufre modificaciones en sus propiedades de resistencia, a consecuencia de un endurecimiento por acritud, dándose los casos siguientes:

1/4 duro

1/2 duro

3/4 duro

duro ó acritud completa.

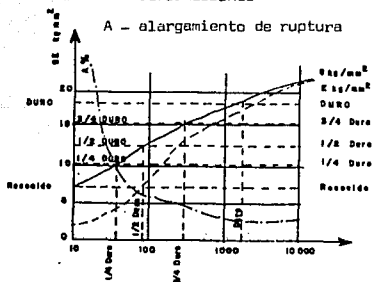
La figura 32.- nos muestra los estados anteriores para el aluminio de 99.5% de pureza, obtenidos por un trefilado o laminación en frío donde.

- tensión

E - módulo de elasticidad

- deformaciones

A - alargamiento de ruptura



$$\text{DEFORMACION} = \frac{E_1 - E_2}{E_2} \times 100$$

Fig. 32 Curva de acritud del aluminio (1100) por trefilado o laminación en frío.

De la figura anterior se observa que:

a).- La relación σ varía en forma notable con la deformación, a medida que el alargamiento de ruptura decrece.

El diagrama esfuerzo-deformación de la fig. 33 establece una comparación entre el aluminio recocido y 1/2 duro.

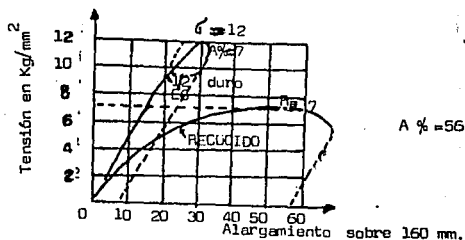


Fig. 33.- Comparación de los diagramas de tracción (esfuerzos-deformaciones) para el aluminio 1100 recocido y 1/2 duro.

A=Alargamiento de ruptura

σ =Tensión

E=Módulo de elasticidad

Variación aproximada de las características de las aleaciones ligeras en función de la temperatura

Temperatura	Carga de rotura en % de la carga de rotura a 0°			Alargamiento en % de los alargamientos a 0°		
	Al puro Al Mn Al MgSi } Recocido	Al puro Al Mn Al MgSi } Duro	Al-Mg recocido	Al puro Al Mn Al MgSi } Recocido	Al puro Al Mn Al MgSi } Duro	Al-Mg recocido
- 200°	125	115	135	125	130	90
- 150	115	110	120	115	120	95
- 100	105	105	105	105	110	100
20°	100	100	100	100	100	100
100	95	95	90	130	100	100
150	85	75	75	150	110	150
200	65	40	50	165	150	200
250	45	15	35	185	300	300
300	35	8	20	200	450	400
350	30	6	10	210	550	500

Tabla No. 18

MODELO DE ELASTICIDAD.

El valor del módulo de elasticidad oscila entre 6500 y 7000 Kg/mm^2 , que comparando con el del acero resulta ser sumamente pequeño (20 a 25000 Kg/mm^2). La influencia de la composición y el trabajo en frío en el módulo de elasticidad ó de Young es baja, dependiendo en forma esencial del volumen atómico y del punto de fusión. Entre más pequeño es el módulo de elasticidad, se tiene una deformación mayor.

RESTAURACION Y RECRISTALIZACION.

Debido a que la temperatura de fusión es relativamente baja (660°C), la recristalización tiene lugar a temperaturas próximas a la ambiente dependiendo del grado de pureza. Para el aluminio con 99.99% de pureza, la recristalización se presenta entre los 30 y 35°C ; mientras que en el 99% - a inferiores, ésta tiene lugar por encima de los 300°C .

CARACTERISTICAS DE EMBUTIDO.

Las características de embutido se conocen mediante la prueba ERICHSEN, - como se ve en la fig. 34 donde un aluminio del 99% de pureza (1100), es sometido a un proceso de embutido, obteniéndose diversas flechas, para diferentes espesores.

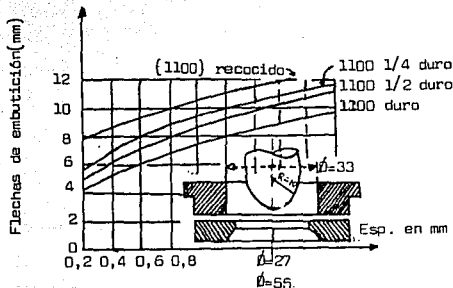


Fig. 34 Flechas de embutición Erichsen para el (1100) en distintos espesores. Recocido-1/4 duro-1/2 duro (obtenidos por acritud parcial sobre metal recocido).

Las características intrínsecas del metal de importancia primordial durante la operación de embutido son: La carga a la ruptura que será tanto más importante cuanto mayores sean las deformaciones en las redes laterales, el alargamiento que debe ser alto, ya que si el metal se desliza con facilidad, el riesgo de estricción disminuye, la resistencia a la compresión tangencial bajo el pisador medida por la relación o por el coeficiente de embutido y el límite elástico. La operación del embutido se facilita, mientras más plástico y maleable sea el metal, cuanto mayor sea la resistencia entre su carga de ruptura y su límite elástico, o cuando el cociente relativo o absoluto de estas dos cantidades aumenta.

Las aleaciones de aluminio embutidas en estado de recocido tienen una carga de ruptura y alargamiento muy inferiores a la de otros metales, pero por el contrario con propiedades de recalado más elevadas.

3.3 PROPIEDADES QUÍMICAS

El aluminio es un metal que se caracteriza por su gran resistencia a la corrosión, que lo hace ser de gran utilidad en varias aplicaciones industriales.

El aluminio reacciona con el medio ambiente dando lugar a una película preservativa de óxido, adherida con firmeza en toda la superficie, haciéndolo más resistente a los efectos corrosivos del medio ambiente y la gran mayoría de compuestos de origen tanto orgánico como inorgánico.

Los ácidos nítrico y acético concentrados, pueden ser envasados en aluminio ya que es inmune a su ataque, el ácido clorhídrico y la

mayoría de los álcalis disuelven la película protectora de la superficie dando lugar a una actividad química (corrosión). Por encima de los 204°C la corrosión es muy vigorosa, y a 315.5°C se convierte en óxido. El aluminio es muy resistente al azufre y la gran mayoría de sus compuestos.

En el campo de la industria alimenticia, dada la naturaleza agresiva de muchos productos, tales como ácidos orgánicos y salmuera, involucran la elección de aleaciones de una alta resistencia a la corrosión, - ya que ésta puede dar origen a contaminación del contenido, esponjamiento a causa de la formación de hidrógeno y por último a la perforación de la lata.

Para aumentar la vida de la capa protectora, así como para aislar el contenido, se utiliza hoy en día recubrimientos de origen orgánico. Todos los estudios de corrosión en el campo de enlatado requieren pruebas de almacenamiento de por lo menos 6 a 12 meses, para poder llegar a un nivel de confiabilidad aceptable, dichas pruebas toman en cuenta todo el sistema que constituye la lata, como son la aleación de aluminio con su óxido, y las sales complejas obtenidas durante el pretratamiento de la superficie y recubrimiento de la lata.

La materia prima se suministra a los fabricantes en rollos y hojas, con un tratamiento de engrasado ó laqueado en ambos lados.

El laqueado siempre es precedido por un tratamiento superficial, que consiste en un simple engrasado alcalino ó en su defecto de un engrasado seguido por un tratamiento químico ó anodizado.

La aplicación de baños de fosfato-cromo, se ajustan hasta obtener una película incolora de aproximadamente 100 y 150 mg/m^2 , es la pre-

paración más adecuada para líneas de tratamiento de alta velocidad.

El anodizado es un baño sulfúrico bajo corriente directa, emplea do en algunas líneas de laqueado. El uso de la corriente alterna, está limitado por la velocidad y conduce a una mayor porosidad del espesor anódico y por ende hay una mayor adhesión.

El laqueado hoja por hoja, se hace por medio de un aceitado condi-octilsebacato (d.o.s.), aplicado en una capa delgada el d.o.s. se utiliza para facilitar el almacenaje y desalmacenaje sin dañar la superficie metálica. Los laqueados de uso común se hacen a base de resinas epóxicas o vinílicas.

Los fenolas-apóxicos (laca de oro), se emplean para protección interna de latas para alimentos; tienen gran resistencia a la corrosión, pero aún así están siendo reemplazados por recubrimientos a base de resinas vinílicas, las cuales son elegidas por su formabilidad y color, siendo usadas para latas de 2-piezas.

La parte exterior se cubre con laca incolora, tinta ó capas blancas pigmentadas.

Estos diferentes recubrimientos son autolubricantes, ya que contienen caras las cuales pueden quitarse cuando se calientan.

3.4.- ALEACIONES DE ALUMINIO.

Los elementos de aleación empleados en mayor proporción son: Silicio, cobre, zinc y magnesio, otros aplicados en menor cantidad como: Hierro, níquel, romo, titanio, antimonio, cadmio, litio, berilio, molib

deno e indio, los cuales mejoran las características del aluminio proporcionando un aumento en su resistencia mecánica y maquinabilidad, acompañada de un decremento en su maleabilidad y en casos especiales mejoran la resistencia a la corrosión. A continuación se dan las características que proporcionan cada uno de los elementos anteriormente expuestos.

1.- COBRE. Produce un aumento en la resistencia mecánica y dureza, facilitando el endurecimiento por envejecimiento en forma muy especial cuando va acompañado con pequeñas cantidades de magnesio. Al aplicarse en elevadas proporciones, disminuye la resistencia a la corrosión intercrystalina.

2.- ZINC. Proporciona fragilidad, acompañada de un aumento en la resistencia mecánica y mejoramiento de las propiedades físicas acortando el tiempo de calentamiento.

3.- MAGNESIO. Cuando es empleado con el silicio da origen a sillios, los cuales confieren dureza a las aleaciones por envejecimiento, además favorece la formación de viruta.

4.- SILICIO. Facilita el endurecimiento por envejecimiento, con un aumento de la resistencia mecánica.

5.- EL TITANIO, CERIUM, VOLFRAMIO y MOLIBDENO agregados en proporciones de 0.1% originan un refinamiento del grano. El antimonio acentúa la resistencia a la corrosión contra el agua del mar.

6.- CADMIO Y ESTAÑO. Dan dureza a las aleaciones susceptibles de tratamiento térmico. El estaño favorece la formación de viruta.

7.- HIERRO. Aplicado en pequeñas cantidades aumenta la resistencia mecánica incrementando la corrosión intercrystalina.

8.- BERILIO. Controla el hierro, agregando un endurecimiento por envejecimiento.

9.- NIQUEL. Aumenta la resistencia a la corrosión por vapor ó agua caliente.

10.- INDIO. Proporciona un aumento de la resistencia mecánica al ser empleado en pequeñas cantidades, en forma principal a las aleaciones tratables térmicamente.

Cuando el aluminio ó sus aleaciones se usan en combinación con otros elementos que son nobles se debe preveer la corrosión galvánica, ya sea por una separación plástica, hule u otro elemento.

3.5.- NORMA PARA LA DESIGNACION DE LAS ALEACIONES.

La designación que adoptaremos será la utilizada por la ASTM, (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING, AND MATERIALS).

Esta norma es válida tanto para el aluminio puro como sus aleaciones. La clasificación se hace por una serie de grupos, siendo como sigue:

-La serie 1XXX, es empleada para el aluminio de más del 99% de pureza, los dos últimos dígitos equivalen al porcentaje por ejemplo:

El aluminio 1030, es un aluminio del 99.3 de pureza.

-La serie 2XXX, es aquella que contiene cobre como principal alea

mento de aleación.

- La serie 3XXX, contiene manganeso como elemento principal de la aleación.
- La serie 4XXX, son aleaciones con un mayor porcentaje de silicio.
- La serie 5XXX, contiene magnesio como principal elemento aleado.
- La serie 6XXX, cuyos principales elementos son el magnesio y el silicio.
- La serie 7XXX, el principal elemento es el zinc.

Por último la 8XXX, empleada para cuando existe otro elemento.

3.6.- ALEACIONES PRINCIPALES Y SUS CARACTERISTICAS.

El estado de una aleación se indica añadiendo un símbolo a la designación de la aleación. La parte principal de este símbolo es una letra con el siguiente significado:

- F=en estado bruto de fabricación.
- O=En estado blando como resultado del recocido.
- H=Endurecimiento por deformación en frío.
- T=Tratado térmicamente.

Las letras H y T van seguidas por números que indican más detalladamente el tratamiento que ha recibido la aleación. Por ejemplo H1 de signa una aleación que ha sido endurecida por deformación en frío solamente. H2 significa una aleación que ha sido endurecida por deformación-

y recocida parcialmente, y H3 indica que la aleación ha sido endurecida por deformación estabilizada por un recocido apropiado. Se emplea un segundo número 2,4,6,8, ó 9 para indicar el aumento de endurecimiento por deformación en frío.

Los diversos estados, producto del tratamiento térmico, se indican por la letra T en compañía de un número, como se indica a continuación:

T2.- Aleación recocida (aplicable únicamente a piezas coladas, - que han sido recocidas para mejorar su ductilidad).

T3.- Con tratamiento de disolución, seguido de una deformación en frío.

T4.- Con tratamiento de disolución y envejecimiento natural.

T5.- Solo envejecimiento artificial.

T6.- Con tratamiento de disolución y envejecimiento artificial.

T7.- Con tratamiento de disolución y estabilización (por un tratamiento térmico de sobre envejecimiento):

T8.- Tratamiento de disolución, deformación en frío, seguida de un envejecimiento artificial.

Las aleaciones principales en el proceso de embutido, son las siguientes.

1100.- Se utiliza principalmente para utensilios de cocina, cubiertas diversas, y en general para todas las piezas que no deban de estar sometidas en servicio a esfuerzos mecánicos importantes, y para aquellos casos en que se somete la pieza a tratamientos muy importan-

tes, como el anodizado de decoración.

1050.- Es una aleación que en estado de recocido, a pesar de tener buen alargamiento y una excelente plasticidad, al tener una carga de ruptura demasiado pequeña, a menudo impide un embutido profundo, por eso se utiliza en estado cuartaduro ó semiduro.

1070 y 1080.- Son utilizados poco más o menos de la misma manera que los tipos precedentes, cuando se toma para la pieza una acción corrosiva de los elementos exteriores.

1099.- Se usa principalmente para fabricar reflectores. En estado recocido, su carga a la ruptura es extremadamente pequeña; por eso es utilizada lo más frecuentemente en estado semiduro ó cuartaduro.

3003.- Es muy utilizada para objetos embutidos. Frecuentemente se prefiere, en relación con las aleaciones de magnesio las cuales presentan el inconveniente de endurecerse por acritud muy rápidamente.

5005.- Se utiliza en lugar de la 1050, cuando es necesario un aumento de las características mecánicas, como es el caso del embalaje. Es un poco más difícil de trabajar que la 3003, 5050 y 5052, son relativamente poco utilizadas.

5151.- De todas las aleaciones sin tratamiento térmico, es la más utilizada. Es un excelente material para embutido en estado recocido. Sin embargo, debido a su porcentaje de magnesio, tiende a endurecerse rápidamente por la acritud que toma por la deformación en frío, por lo que la operación en varias pasadas resulta ser muy delicada. Por el contrario, los embutidos que precisan de una buena carga de ruptura, como por ejemplo, los embutidos profundos semiesféricos, son ejecutados —

muy fácilmente con este tipo de aleación.

5456.- Se utiliza cuando se requiere una resistencia mecánica — muy buena, pero únicamente se puede embutir a partir del estado de recocido. Es un material excelente para embutido profundo de chapa delgada.

6051.- Esta aleación es empleada en la industria química y su capacidad de embutido es similar a la de la aleación 1100, cuando se encuentra recocida, además no se endurece rápidamente por acritud. Cuando esta aleación es templada bajo ciertas condiciones, resulta ser un material de buena calidad para el embutido.

2017.- Su conformación en estado de recocido es buena siendo en estado templado y blando de una mala conformación.

2117.- Templada al aire y madurada lentamente, da buenos resultados para el embutido de piezas del tipo carrocería de automóvil.

Una aleación empleada para la fabricación de envases, por el proceso de embutido, debe de cumplir con baja anisotropía con el objeto de evitar la formación de dobleces, que se indican como resultado de una elongación no uniforme en el material. La altura de los dobleces varía en relación de 1:3, dependiendo de la lubricación, número de pesos y de las tolerancias.

Para los envases hechos por embutido profundo, y extruido por impacto, se requiere una buena formalidad, para la obtención de óptimos resultados. Las aleaciones que mejor se prestan a este propósito son la 1100 y la 3003, por sus grandes características mecánicas, como veremos más adelante.

En general todos los tipos de aleaciones son fáciles de trabajarse en frío, en estado de recocido ó con una acritud moderada.

Toda aleación de aluminio empleada en la fabricación de cualquier pieza, debe reunir las siguientes características básicas:

a).- Debe de tener una isotropía satisfactoria (iguales propiedades en todas direcciones), en forma muy especial para el proceso de embudo.

b).- Que la superficie permanezca lisa, después de haber sufrido una deformación.

Las aleaciones de aluminio se pueden dividir en general en dos grupos importantes:

- Las tratables térmicamente.
- Las no tratables térmicamente.

Esta distinción se basa en el hecho de que con ciertos componentes la resistencia puede ser incrementada por medio de un proceso adecuado de endurecimiento por precipitación. La importante ventaja que ofrecen las aleaciones inducidas por precipitación es el hecho de conservar su dureza a elevadas temperaturas, mientras no se exceda la temperatura de recocido utilizada en el proceso. Durante las primeras etapas de formación de agrupaciones de átomos y precipitación fina se producen grandes tensiones debido a la deformación sufrida en la red cristalina, las cuales se manifiestan por un aumento de dureza y resistencia, sin pérdidas de alargamiento.

Las aleaciones que no son tratables térmicamente, pueden suplirse en varios tratamientos: Maleable, media dureza. Y dureza dichas alea-

ciones son fáciles de ser trabajadas en estado blando, pero su maquinabilidad disminuye a medida que se suocita un aumento en la dureza.

Las aleaciones, de acuerdo a la cantidad de elementos que las forman, se dividen en : BINARIAS Y COMPLEJAS.

ALEACIONES BINARIAS.

Son aquellas que están formadas con aluminio como elemento principal, y algún otro elemento, como el zinc, magnesio, silicio, magnesio y cobre. Así se forman aleaciones del tipo Al-Si, Al-Mg, Al-Zn, Al-Mn, y Al-Cu; las cuales se describen a continuación.

ALEACIONES ALUMINIO-MAGNESIO

La fig. 35 nos dá el diagrama de equilibrio, Al-Mg, que nos muestra la posibilidad de tener hasta un 15 % de magnesio en solución sólida en aluminio (eutéctico). Cuando el porcentaje de magnesio, excede de 15% la solución sólida se vuelve inestable, tanto a bajas temperaturas (75°C) así como superior, teniendo lugar un decremento de las propiedades mecánicas, de resistencia a la corrosión, causando dificultad en la conformación y acabado.

Las propiedades de las aleaciones Al-Mg, de uso industrial (mg- menor del 5 %), están dadas en la tabla: 19.

Aleación	Mg %	Estado recocido			Estado C /acritud		
		σ Kg/mm ²	A %	Límite de Fatiga Kg/mm ²	σ Kg/mm ²	E Kg/mm ²	A %
S050	1	12	18	-	20	16	4
S052	2	15	19	10	24	20	4
S454	3	20	20	11.5	30	26	4
S456	5	30	24	14	45	38	4

TABLA 19

ALEACIONES ALUMINIO-ZINC-MAGNESIO (AL-Zn-Mg).

Una aleación de este tipo comunmente usada es o la que contiene:

3.5 % Zn

2.0 % Mg

0.15 % Cr

0.3 % Mn

Esta aleación es una solución sólida sobresaturada ligeramente a temperatura ordinaria, con una velocidad de temperatura baja, se trata de una aleación autotemplable, con un importante endurecimiento por maduración natural.

En el diagrama de equilibrio simplificado, observamos lo siguiente:

a).- El intervalo de la línea solidus y la de precipitación es muy grande, razón por la cual se puede tener una fase homogénea entre 550 y 320°C, dando lugar a un intervalo amplio de temple.

b).- La velocidad de precipitación es lenta en los bordes de la línea de precipitación.

La tabla 20 muestra los tres estados estructurales obtenidos de esta aleación mediante el tratamiento térmico:

EDO.	σ (Kg/mm ²)	E (Kg/mm ²)	A %
1.-Reconocido de coalescencia (recocido con enfriamiento lento ó recocido permanente)	18	9	23
2.-Homogeneización y temple.	23	8	27
3.-Con maduración natural después del temple.	31	20	15

TABLA 20.- Propiedades mecánicas de las aleaciones Al-Zn-Mg, en tres estados estructurales diferentes.

Teniéndose en los estados 1 y 2, de la tabla anterior, una plasti cidad muy buena. En si la aleación, es sencible a la corrosión, por su mo derado contenido de zinc.

ALEACION AL-Mg₂- Si

La resistencia a la corrosión de esta aleación es excelente; además se puede tratar térmicamente para algunos casos. Sus tres estados obtenidos mediante el tratamiento térmico vienen dados por la tabla 21.

ESTADO	σ (Kg/mm ²)	A %
1.- Recocido de - coalescencia -	14	25
2.- Homogeniza- ción y temple	16	25
3.- Maduración <u>na</u> tural.- Maduración <u>Ar</u> tificial. 1hr a 175°C	26 30	18 12

TABLA : 21

A: Alargamiento de Ruptura.

G: Tensión

E: Módulo de Elasticidad

ALEACIONES ALUMINIO SILICIO. (Al-Si).

Este tipo de aleación es de gran aplicación por sus excelentes - cualidades de fundición y alta resistencia a la corrosión. Esta aleación no es frágil en caliente, pero difícil de labrar a máquina. La aleación más común, es aquella cuyo contenido de silicio es del 9%, la cual solidifica con una estructura gruesa eutectica en todas las aleaciones de contenido grande de silicio. Cuando se agrega fierro se debe hacer en pequeñas cantidades para evitar la fragilidad.

La microestructura de la aleación que contiene un 8% de Si muestra largas dendritas de solución sólida alfa primaria, rodeada por el microconstituyente eutético. No es exacto hablar de la existencia de dos fases sólidas, como si se tratase de silicio puro y aluminio puro, ya que en ambos casos existe algo de solubilidad sólida.

En la solución sólida alfa, tanto los átomos de aluminio como los de silicio, se encuentran en proporción aproximada de 99:1, distribuidos al azar en toda la red cristalina.

La fase beta no es silicio puro, sino que está constituida por silicio más 1% de aluminio, distribuido en la red cristalina cúbica de diamante del silicio.

Ahora, consideramos una aleación con un 50% de Si a una temperatura de 1316°C, en el diagrama de equilibrio Fig. 36 se ve para estas condiciones la aleación se encuentra en la fase líquida. Al disminuir la temperatura hasta 1037°C, la solidificación se presenta con la nucleación y crecimiento de los cristales primarios de la solución sólida beta. A los 871°C hay dos fases presentes (beta+líquido). Los extremos de la línea de coexistencia trazada a través de este campo de fases, contie

ne 34% de silicio en fase líquida, y la fase sólida beta contiene un 98% de silicio como se muestra en el diagrama de equilibrio Al-Si.

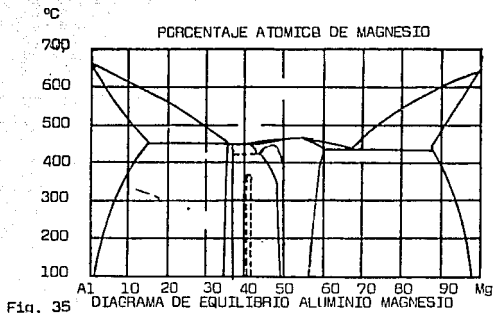


Fig. 35

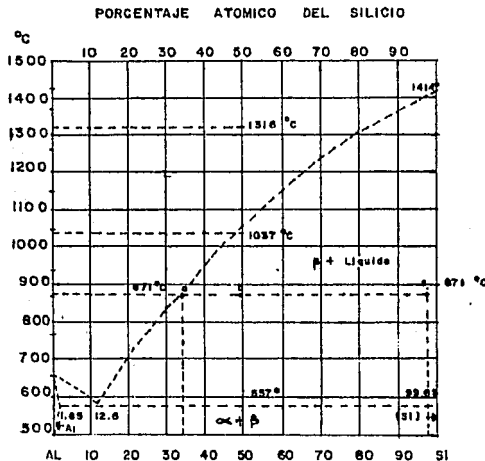


FIG. 36 DIAGRAMA DE EQUILIBRIO ALUMINIO-SILICIO

Si aplicamos la ley de la palanca , para determinar la cantidad de las dos fases, tenemos:

$$\% \text{ fase beta} = (b-a)/(c-a) \times 100$$

$$\begin{aligned} \% \text{ fase beta} &= (50-34) / (98-34) \times 100 - \\ &= 25\% . \end{aligned}$$

La cantidad de la fase líquida es el 75%.

Al continuar el enfriamiento de nuestra aleación por debajo de los 871°C la cantidad de la fase beta primaria se incrementa, hasta alcanzar la -- temperatura eutéctica (577°C).

Al proseguir el enfriamiento, el líquido se solidifica a temperatura constante, hasta formar una estructura eutéctica, compuesta por dos fases alfa y beta.

ALEACION ALUMINIO- ZINC.

La región rica en aluminio, está mostrada en el diagrama de equilibrio fig. 37 en donde se puede observar que la solubilidad del zinc en aluminio a 275°C es 31%, disminuyendo hasta 5.6% a 125°C. La susceptibilidad de esta aleación a la aparición de grietas por tensiones internas, se aminora cuando se agrega cromo, en compañía de un tratamiento térmico adecuado.

Esta aleación es empleada en los casos donde se requiere gran resistencia a la tracción, y buena resistencia a la corrosión.

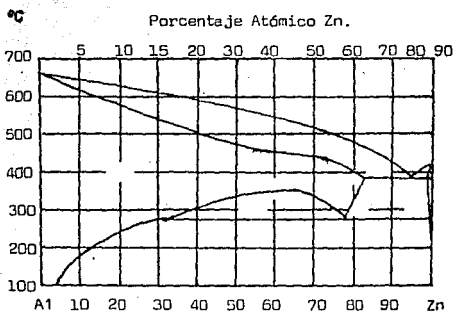


Fig. 37 Diagrama de Equilibrio Al-Zn.

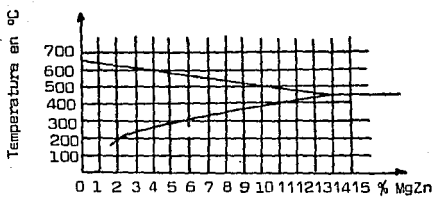


Fig. 38 Diagrama de Equilibrio Al-MgZn.

ALEACION ALUMINIO-COBRE-MAGNESIO (Al-Cu-Mg).

Es una aleación poco resistente a la corrosión, a causa de su contenido de cobre, siendo tratable térmicamente, con un temple a temperatura precisa, seguido de una maduración natural, razón por la cual esta aleación soporta importantes deformaciones.

3.7.-TIPOS DE TRATAMIENTOS TERMICOS QUE SE APLICAN A LAS ALEACIONES DE ALUMINIO.

Con objeto de que las aleaciones de Al cumplan con las características requeridas, para un buen desempeño en su fabricación, se le somete a tratamientos adecuados.

Los tratamientos practicados a las aleaciones de aluminio son los siguientes:

- Recocido (recristalización y maduración)
- Temple
- Maduración Artificial
- Maduración Natural.

.- RECOCIDO.

El objeto fundamental del recocido, es el de disminuir la dureza del material, haciéndolo más dúctil. Este tratamiento consiste, en elevar la temperatura del material ligeramente arriba del punto de recristalización ó por debajo de éste de acuerdo a las propiedades de recocido que se quieran dar al Al. Efectuar un enfriamiento lento y gradual.

.- RECRISTALIZACION.

Pongamos por caso la aleación Al-Mg, es una estructura con acrí-

tud calentada por encima de la temperatura de recristalización, dando lugar a las siguientes transformaciones:

-Cuando la recristalización se inicia, la orientación de los granos es totalmente a la del estado de acritud, ya que éste crece a medida que se prolonga el tiempo de calentamiento ó hay un incremento de la temperatura.

Las propiedades obtenidas son las del estado blando, estando íntimamente ligadas al tamaño del grano, por lo cual se procura que éste sea lo más fino posible lo cual se logra bajo las siguientes condiciones:

a).- Que la recristalización sea precedida por una deformación inferior a la acritud crítica.

b).- Mediante la aplicación de un calentamiento rápido.

c).- Mantener poco tiempo a la temperatura de recocido. Por lo regular el recocido se lleva a cabo a 345°C, para la gran mayoría de las aleaciones y el aluminio puro, éste se efectúa al rededor de 400°C.

.- RESTAURACION.

La restauración no es más que un perfeccionamiento de la estructura del metal con acritud, mediante una orientación preferencial, cuando éste se lleva a una temperatura inferior al umbral de recristalización, dando lugar a lo siguiente:

a).- Permite fabricar por ablandamiento parcial, partiendo de una acritud total, estados completamente definidos como son: 3/4 duro, 1/2 duro, 1/4 duro y aún más blandos.

Los tratamientos de restauración se obtienen bajo las siguientes condiciones.

-Por medio de calentamientos prolongados a temperaturas bajas, - con tolerancias de tiempo amplias.

-A causa de calentamientos rápidos, cercanos a la temperatura de recristalización, con tolerancias estrechas de tiempo y temperatura.

.- TEMPLE.

Este tipo de tratamiento térmico, está constituido por dos etapas, una de homogeneización a la temperatura de temple (tratamiento de - puesta en solución), y otro consistente en un enfriamiento rápido (el - temple en sí).

a).- Calentamiento de Homogeneización.

Este calentamiento se efectúa, en hornos a base de baños de sal, para un calentamiento rápido y preciso, con circulación metódica de aire.

b).- Enfriamiento Rápido.

Este tratamiento se hace por inmersión en agua, aceite, aire ó - niebla forzada, para cuando se requiere una velocidad de temple pequeña.

.- MADURACION ARTIFICIAL.

Existen básicamente, dos tipos de maduración artificial; siendo los siguientes:

a).- Maduración Artificial de Endurecimiento.

Este tiene lugar entre 150 y 225°C, llevándose a cabo en hornos de circy

lación metódica de aire, orientados hacia tratamientos cortos, a temperaturas elevadas, que hacen que subsista, parte de la acritud que precede a la maduración artificial.

b).- Maduración Artificial de Ablandamiento o Precipitación.

Este tratamiento consiste en elevar la temperatura del material, hasta la zona alfa, seguida de un enfriamiento lento.

3.8.- EL ALUMINIO EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA.

La aplicación del aluminio en el envasado de alimentos es bastante amplia, debido a su buena resistencia de ataque a numerosos productos de origen, orgánico con las que entran en contacto.

En lo que se refiere en las condiciones que debe cumplir el aluminio para una buena preservación de los alimentos, podemos citar, una gran estanqueidad, película segura contra la acción atmosférica, la luz y la humedad.

A continuación haremos una descripción de algunas aplicaciones del aluminio en el enlatado de los productos alimenticios más comunes.

a).- Latas para Conserva.

Estas latas pueden ser de dos tipos: embutidas ó bien de costura soldada, con cubierta engargolada. Las latas, con frecuencia se les aplica una oxidación anódica interior y en algunos casos un barnizado para algunos productos en especial. Naturalmente se debe tener en cuenta las facilidades de litografiado para fines publicitarios.

.-Jugos de Frutas.

La acción del aluminio en los jugos de frutas es muy débil (no cambia el sabor). El aluminio es apto solamente para jugos pasteurizados y que no se han tratado a base de ácidos sulfúrico. Para cierto tipo de frutas el aluminio se recubre con una película ligera de oxidación anódica y barnizada.

.- Cerveza.

El ataque de la cerveza al aluminio es nulo a cualquier temperatura, conservando su sabor.

.-Vinos.

Si el contacto del vino con el aluminio no se prolonga, el vino no sufre ninguna alteración (en gusto y color). Para evitar este problema, el aluminio recibe un tratamiento de anodizado, acompañado de un revestimiento a base de un barniz especial (brautita).

.-Alcoholes y Licores.

Cuando se emplea aluminio sin revestimiento, recibe un ataque que se traduce en ciertos copos de alúmina, así como pérdidas de sabor de los aguardientes. Para dar solución a este problema, son utilizados barnices especiales, ya que un revestimiento químico o anódico no es suficiente. Para licores azucarados, el ataque es menor, debido a la acción inhibitoria del azúcar.

.- Leche.

No hay acción contaminante del aluminio a cualquier temperatura. En algunos casos cuando la superficie del aluminio tiene una limpieza imperfecta, puede comunicar al producto contenido una cierta coloración grisácea a causa de un continuo rozamiento. Para dar solución a este problema es suficiente un anodizado.

.- Aceites de Cocina y Grasas Comestibles.

El aluminio es muy útil para el envasado de estos productos ya que no sufren cambio en sabor ni color. Se usan aleaciones ligeras excentas de cobre, ya que este metal comunica una tonalidad verdosa.

.- Carnes.

El aluminio es apto para el recubrimiento de camiones frigoríficos, por sus grandes cualidades térmicas y resistencia a la corrosión y poco peso. En la conservación de carnes el aluminio da buenos resultados.

.- Pescado.

La conservación del pescado en latas de aluminio (sardinas, arenques, caballas y atún), no es muy amplia, aunque en algunos países como Noruega ya son utilizadas latas de aluminio barnizadas.

.- Legumbres y Frutas.

Para el envasado de estos productos, las latas son hechas sin revestimiento y con película anódica, cuando el PH de las legumbres es superior a 5.2% en el caso de legumbres acuosas las latas deben ir barnizadas.

3.8.- ALEACIONES COMUNMENTE UTILIZADAS EN LA FABRICACION DE ENVASES Y SUS CARACTERISTICAS.

Las cualidades que debe cumplir una aleación para ser utilizada en el envase de productos alimenticios son las que se dan a continuación:

- Buena formabilidad con mínima anisotropía
- Excelentes propiedades mecánicas
- Buena resistencia a la corrosión
- Economía.

Pongamos por caso el reemplazamiento de la aleación 5082-H28 por la 5182-H28, empleada para tapas de latas de cerveza, con diámetro de 66 mm., dando lugar a una reducción del espesor de 0.37 mm. a 0.34 mm., lo que representa una ganancia aproximada del 8%; lo anterior fue posible, debido a que las propiedades mecánicas de la aleación 5182-H28 son un 10% más elevadas que las de la aleación 5082-H28.

Las buenas propiedades mecánicas, causan un mejoramiento en la rigidez, la cual puede aumentarse modificando la tapa y el fondo, así como reforzando el cuerpo por medio de castillas.

Las aleaciones que se emplean en el envasado de productos alimenticios, son del tipo: Aluminio-Manganeso (3000), Aluminio-Magnesio (5000).

Las aleaciones tratables térmicamente, como es el caso de la Aluminio-Silicio-Magnesio (6000), o el tipo Aluminio-Zinc-Magnesio (7000), son difícilmente utilizadas, debido a que no ofrecen mayores características.

ticas que las aleaciones del tipo 3000 y 5000.

Las aleaciones de uso más común en la fabricación de envases son: la 3003-H14, la 3004-H34, la 5052-H34, y la 5086-H38. Son utilizadas en estado de endurecimiento por deformación.

El empleo específico de estas aleaciones, depende de sus condiciones metalúrgicas y características mecánicas. En el caso de la aleación 3004-H34, es empleada en la fabricación de envases rectangulares, a diferencia de la 5052-H34, usada para envases redondos litografiados.

A continuación se darán las propiedades físicas, mecánicas, químicas, tratamientos de recocido y otras características de vital importancia, de las aleaciones anteriormente expuestas.

NOTA: La aleación 5086-H38, la sustituiremos por la 5086-H36, ya que la variación de sus propiedades es insignificante y por ende no repercute en el proceso de fabricación.

- PROPIEDADES FISICAS -

Estas propiedades están dadas por la tabla 21 a continuación:

Tipo de Aleación	Densidad a 20°C gr/cm ³	Rango Aproximado a temp. en °C	Conductividad Eléctrica a 20°C (68°F)	Conductividad Térmica a 25°C CGS Unidades.
3003 H 14	2.735	643.33-654.4	46	0.042
3004 H 34	2.719	629.4 -654.4	42	0.39
5052 H 34	2.676	607.2 -648.8	35	0.33
5086 H 36	2.662	385-640.5	32	0.3

Tabla: 21 PROPIEDADES FISICAS DE LAS ALEACIONES DE USO MAS COMUN EN LA FABRICACION DE ENVASES.

- PROPIEDADES MECANICAS-TIPICAS -

Estas propiedades son de gran importancia para un buen resultado en la fabricación de latas y están dadas en las tablas 22 y 23 a continuación:

Tipo de Aleación	RESISTENCIA A LA TENSION. $N m^{-2} \times 10^6$		ALARGAMIENTO en 5.08 cm en %		Dureza Brinell 10 mm. Bola y fza. 500 Kg. 30 seg.	Corte Esfuerzo Cortante $N m^{-2} \times 10^6$	Fatiga Lim.de Fatiga	Módulo de Elasticidad $N m^2 \times 10^9$
	Ultimo	De Cedencia	Muestra de 1.58m	12.7 mm. de diam.				
3003-H14	151.69	144.795	8	16	40	96.53	62.055	68.93
3004-H34	841.325	199.953	9	12	63	124.11	110.32	68.95
5052-H34	262.01	213.745	10	16	68	144.795	124.11	70.329
5086-H36	344.75	282.695	8		87	199.955		71.0185

Tabla No. 22 PROPIEDADES MECANICAS DE LAS ALEACIONES PARA ENVASES.

TIPO DE ALEACION	TEMPERATURA °C	ESFUERZO DE TENSION		ALARGAMIENTO 5.08 cm. en %
		ULTIMO	DE CEDENCIA	
3003-H14	-195.5	241.325	172.375	30
	- 80	165.48	151.69	18
	- 27	151.69	144.795	16
	23.88	151.69	144.795	16
	100	144.795	131.005	16
	148.88	124.11	110.32	16
	204.44	96.53	62.055	20
	260	51.7125	27.58	60
	315.55	27.58	16.548	70
	371.1	19.306	12.411	70
3004-H34	-195.5	358.84	234.43	25
	- 80	262.01	205.89	16
	- 27	248.22	199.955	13
	23.88	241.32	199.955	12
	100	234.43	199.955	13
	148.88	193.06	172.375	22
	204.44	144.795	103.425	35
	260	96.53	51.7125	55
	315.55	51.7125	34.475	80
	371.1	34.475	20.685	90
5052-H34	-195.5	379.225	248.22	28
	- 80	275.8	230.64	21
	- 27	262.01	213.745	18
	23.88	262.01	213.745	16
	100	262.01	213.745	18
	148.88	205.85	186.165	27
	204.44	165.48	103.425	45
	260	82.74	51.7125	80
	315.55	51.7125	37.9225	110
	371.1	34.475	21.3745	130
5086-0	195.5	379.225	131.005	46
	- 80	268.905	117.215	35
	- 27	262.01	117.213	32
	23.88	262.01	117.215	30
	100	262.01	117.215	36
	148.88	199.955	110.32	50
	204.44	151.69	103.425	60
	260	117.215	75.845	80
	315.55	75.845	53.0915	110
	371.1	41.37	28.959	130

Tabla No. 23 PROPIEDADES DE TENSION DE LAS ALEACIONES DE USO COMUN EN LA FABRICACION DE LATAS A VARIAS TEMPERATURAS.

- PROPIEDADES QUÍMICAS -

Estas propiedades están dadas por la tabla 24 siguiente:

ALEACION	Cu	Mg	Mn	Cr	Si	Fe	Ti	Zn
3003	0.05-0.2	-	1.0-1.5	-	0.6	0.7	-	0.10
3004	0.25	0.8-1.3	1.0-1.5	-	0.3	0.7	-	0.35
5052	0.10	2.2-2.6	0.10	0.15-0.35	Si + Fe	0.43	-	0.10
5086	0.10	3.5-4.5	0.2-0.7	0.05-0.25	0.4	0.5	0.15	0.25

Tabla No. 24.

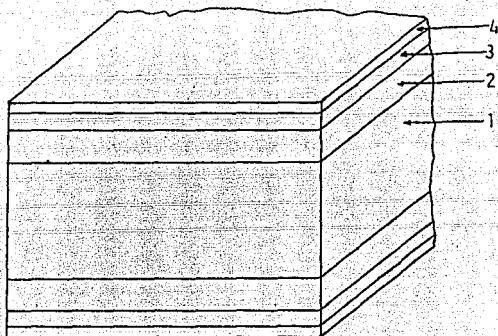
CAPITULO 4
TIN FREE STEEL
(ACERO LIBRE DE ESTAÑO)

El TFS es un descubrimiento reciente que se ha acelerado debido al aumento del precio del estaño y el deseo de independizarse del suministro extranjero del mismo, lo cual ha conducido también al uso de otros materiales tales como aluminio y plásticos en la fabricación de las latas. Fig. 39. Este desarrollo del TFS comprende un acero base cubierto con un cierto espesor de cromo que a su vez se cubre con una película de óxido de cromo. La figura 40, muestra los pasos básicos para su fabricación. Sin embargo, a pesar del desarrollo del TFS y del aluminio para la fabricación de latas y del alza de los precios de la hojalata, la demanda de ésta continua creciendo.

Los principales requerimientos que debe tener un material para fabricar latas y poder sustituir a la hojalata son:

- 1.- Almacenabilidad, esto es, resistencia a la corrosión durante el almacenaje de la producción.
- 2.- Resistencia a la corrosión producida debajo del recubrimiento.
- 3.- Fabricabilidad, es decir habilidad para fabricarse en líneas de alta velocidad.
- 4.- Claridad de la litografía para mayor atracción del cliente.
- 5.- Economía de producción y fabricación, lo que daría como resultado una lata más barata competitiva con la lata convencional de hojalata.

Mientras que han intentado varios procesos para encontrar un -



- 1.- Acero base
- 2.- Cromo metálico 0.1 - 0.3 u pulg.
- 3.- Oxido de cromo 0.2 u pulg.
- 4.- Pelicula de aceite 0.1 u pulg.

Fig. 39

Diferentes capas en el TFS.

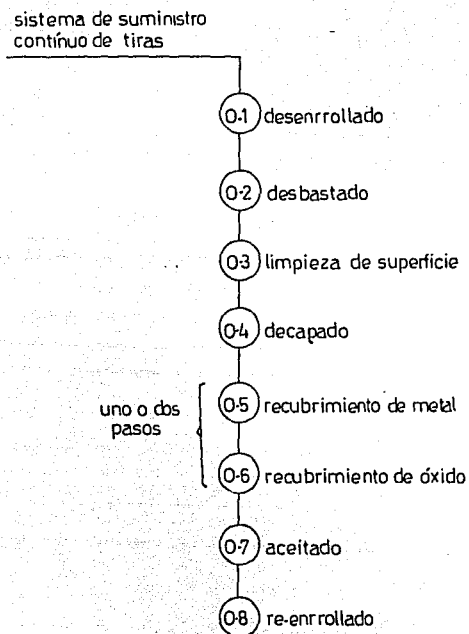


Fig. 40

Proceso de fabricación de Tin free Steel.

sustituto del recubrimiento de estaño, el éxito más común obtenido es el proceso de fabricación del TFS basado en cromo. Esto puede considerarse en cuatro categorías.

- 1.- Recubrimiento de óxido. Óxido de cromo trivalente producido por la reducción del cromo hexavalente.
- 2.- Recubrimiento de cromo puro.
- 3.- Recubrimiento de óxido en un paso, que comprende cromo metálico cubierto por una capa no metálica de óxido de cromo.
- 4.- Recubrimiento de óxido en dos pasos, que comprende cromo metálico cubierto por una capa no metálica de óxido de cromo depositado por se parado.

El TFS no tiene la superficie tan brillante como la hojalata. Dependiendo del proceso usado, la apariencia puede ser azul, gris, gris brillante ó gris plateado. La apariencia depende de la rugosidad de la superficie del acero y de la proporción de cromo metálico al óxido de cromo, así como de la presencia de fosfatos.

4.1.- PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DEL TFS.

El TFS común comprende un recubrimiento de cromo metálico cubierto con una capa no metálica de óxido de cromo. El metal y el recubrimiento de óxido puede depositarse en uno o dos pasos. En el proceso de un paso, el metal y las capas de óxido se producen en el mismo baño y el control de las dos capas se obtiene por una variación de la densidad de corriente. La mecánica de la formación del recubrimiento de dos capas en el proceso de un paso no ha sido establecida. En el proceso de dos pasos

(fig. 41), los recubrimientos metálico y de óxido se depositan en baños separados y el control de los mismos se logra variando no solamente la densidad de la corriente, sino también la composición electrolítica, así como los parámetros de la operación.

Las ventajas del proceso de un paso sobre el de dos pasos son las siguientes:

- 1.- Solamente es necesario mantener un grupo de tanques y una solución, ya que no es necesario un paso extra para tratamiento químico por separado.
- 2.- Los problemas de contaminación de la solución químicamente tratada por la solución de plateado (plating) prácticamente no existen.
- 3.- Los costos de inversión son más bajos, ya que no se necesitan tanques extra para enjuague (lavado), ni tanques para tratamiento químico, así como sistema para manejo de las soluciones para tratamientos químicos.

Las ventajas del proceso de dos pasos sobre el proceso de un paso son las siguientes:

- 1.- Puesto que el metal y el óxido se depositan por separado, cada recubrimiento puede controlarse y variarse independientemente. El proceso es suficientemente flexible para cambiar los espesores de los recubrimientos de metal y de óxido así como sus proporciones sin mayor esfuerzo.
- 2.- Las altas densidades de corriente son una gran ventaja del proceso de depositación de metal puro, lo cual proporciona un diseño de la línea de acabado (plating) muy compacto.

(fig. 41), los recubrimientos metálico y de óxido se depositan en baños separados y el control de los mismos se logra variando no solamente la densidad de la corriente, sino también la composición electrolítica, así como los parámetros de la operación.

Las ventajas del proceso de un paso sobre el de dos pasos son -- las siguientes:

- 1.- Solamente es necesario mantener un grupo de tanques y una solución, ya que no es necesario un paso extra para tratamiento químico por separado.
- 2.- Los problemas de contaminación de la solución químicamente tratada por la solución de plateado (plating) prácticamente no existen.
- 3.- Los costos de inversión son más bajos, ya que no se necesitan -- tanques extra para enjuague (lavado), ni tanques para tratamiento químico, así como sistema para manejo de las soluciones para tratamientos químicos.

Las ventajas del proceso de dos pasos sobre el proceso de un paso son las siguientes:

- 1.- Puesto que el metal y el óxido se depositan por separado, cada -- recubrimiento puede controlarse y variarse independientemente. El proceso es suficientemente flexible para cambiar los espesores de los recubrimientos de metal y de óxido así como sus proporciones sin mayor esfuerzo.
- 2.- Las altas densidades de corriente son una gran ventaja del proceso de depositación de metal puro, lo cual proporciona un diseño de la línea de acabado (plating) muy compacto.

Dado que el equipo para la producción de hojalata electrolítica y TFS es esencialmente el mismo, se han construido líneas con la doble función, de tal forma que se puedan producir cualquiera de los dos. Además, el equipo puede instalarse en líneas existentes de estañado electrolítico.

A continuación se enlistan algunas diferencias en las características de la hojalata y del TFS para la fabricación de latas:

- 1.- El TFS no admite soldadura para las costuras laterales en las latas convencionales de tres piezas.
- 2.- El recubrimiento del TFS no fluye como para proporcionar un efecto lubricante para fabricar latas de dos piezas por el proceso de embutido y planchado de pared, lo cual si es posible con la hojalata.
- 3.- El TFS provoca un gran desgaste en las herramientas de corte, especialmente en cortadoras longitudinales, transversales y anillos de la matriz lo que conduce a altos costos por este aspecto.
- 4.- El TFS no tiene la superficie tan brillante como la hojalata. — Por lo tanto, para proporcionar un efecto óptico similar, consume más laca y tintas de impresión, y en el caso de tintas blancas, se requieren pasadas adicionales a través de la prensa de litografiado.
- 5.- El TFS puede soportar mucho más altas temperaturas de horneado que la hojalata, y por lo tanto solamente se requiere de unos cuantos segundos de horneado a 350°C, con lo cual se reduce el tamaño del horno de secado. El punto bajo de fusión del estaño (232°C), por otro lado, limita la temperatura de horneado de la hojalata, dando como resultado largos periodos de horneado (10-12 minutos) para la polimerización de la laca.

6.- Para las operaciones de embutido, se deben usar laqueadoras especiales con hojalata, mientras que con el TFS se requieren laqueadoras normales debido a la excelente adhesión que tiene con la laca.

La adhesión se reduce considerablemente al tocar la superficie del TFS por lo cual debe tenerse especial cuidado cuando se manejan las hojas en las máquinas de litografiado y recubrimiento.

7.- El TFS es sensible al raspado superficial. Las superficies raspadas de TFS lo hacen propicio a la corrosión, mientras que en la hojalata, el estaño provee una protección activa al actuar como un metal adherido. De aquí que se requiera un cuidado extra durante el manejo del TFS antes de aplicar los recubrimientos orgánicos, que proporcionan una protección pasiva contra la corrosión.

8.- No existe el manchado por azufre en el TFS como en la hojalata como resultado de la esterilización de los materiales que contienen proteínas en las latas.

La acción de los ácidos y álcalis en la hojalata y el TFS tipo-cromo es diferente. El estaño es un elemento que forma sales con los ácidos y estannatos con los álcalis. La corrosión en la hojalata es un fenómeno complejo y el recubrimiento de estaño puede actuar como catódico, anódico, inhibitorio o inerte. Puesto que el estaño reacciona con los álcalis, en caso de que se dañe el recubrimiento interior de la lata, el recubrimiento de estaño se disuelve por el contenido de alcali, provocando la remoción del esmalte del área raspada.

En el caso del TFS, esto no sucede, debido a la adhesión del esmalte así como a la no-reactividad del recubrimiento de cromo contra el

ataque de los álcalis. En el caso de los ácidos, el daño de la capa del TFS produce un ataque directo del ácido en el acero, formando compuestos de fierro y produciendo el desprendimiento de hidrógeno.

El TFS produce un desprendimiento mayor de hierro, comparado con la hojalata. Esto se debe a la protección anódica del acero por el estaño, así como el efecto inhibitor de los iones de estaño en solución sobre la corrosión del acero.

El estaño no es tóxico en alimentos empacados, mientras que el cromo en su forma hexavalente sí lo es, debido al alto poder de oxidación de este ión. El recubrimiento de TFS comprende cromo metálico y un óxido trivalente, ambos son insolubles bajo condiciones de esterilización. Se puede esperar que cualquier cromo hexavalente en existencia se redujera en cualquier caso, a cromo trivalente por la reducción de componentes en el alimento.

Cuando se esterilizan las proteínas que contienen azufre (carne, pescado y ciertos vegetales), el interior de la hojalata puede mancharse de color púrpura, café o negro. Las manchas son causadas por el sulfato de estaño. Se deben aplicar lacas especiales resistentes al azufre a la hojalata para minimizar tales efectos.

El TFS, sin embargo no es atacado por el azufre, como es evidente por la excelente apariencia de las latas de TFS que se vacían después de largo tiempo de almacenaje.

CAPITULO 5

TEORIA DEL EMBUTIDO

El embutido forma parte de los principales procesos de fabricación en la industria de envases y utensilios para el hogar y partes automotrices, por las ventajas que ofrece por su calidad y alta producción en serie.

El proceso consiste en la transformación de una placa plana de metal laminado, denominada cospel, en un cuerpo hueco de superficie no desarrollable, teniendo lugar la deformación con superficie y espesor constante, mediante una o varias operaciones, según sea necesario. El procedimiento base que se sigue en la operación de embutido, es la de obligar a una chapa metálica laminada a pasar, mediante la presión ejercida por punzón, a través de una matriz.

En el presente capítulo se hace una descripción de los elementos constitutivos de una estampa para embutir, y la función que desempeña cada uno de ellos, así como el análisis de estos esfuerzos del material cuando es sometido a este trabajo mecánico, así como la determinación del tamaño del cospel, necesario para el desarrollo de un elemento embutido. También describe el herramental básico que se utiliza en la realización de este proceso, así como algunas de las características particulares en ciertos pasos o etapas del mismo.

5.1 PROCESO DE EMBUTIDO Y DESCRIPCION DE UNA ESTAMPA PARA EMBUTIR.

El proceso de embutido, consiste en colocar el borde de la lámina metálica, entre dos planos de sujeción, desarrollándose en la parte central del embutido; siendo obligado el material a estar extendido-

y resbalar lentamente bajo la acción de las fuerzas, eliminando la formación de pliegues.

Es evidente que el material del Cospel sufre estiramiento, el cual es tanto mayor, cuanto mayor sea la presión ejercida, dando lugar a un endurecimiento del material, como se observa en la figura 42.

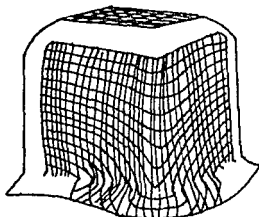


Fig. 42.- Demostración gráfica del alargamiento de las fibras en las paredes de un recipiente embutido.

En la figura 43, observamos como todo el borde del material, está extendido sobre el mangón de agujero, es decir doblado, en esta operación característica, provoca en determinadas condiciones de trabajo una fuerte dilatación, o lo que es lo mismo, se produce un alargamiento de las fibras externas a expensas del espesor del Cospel.

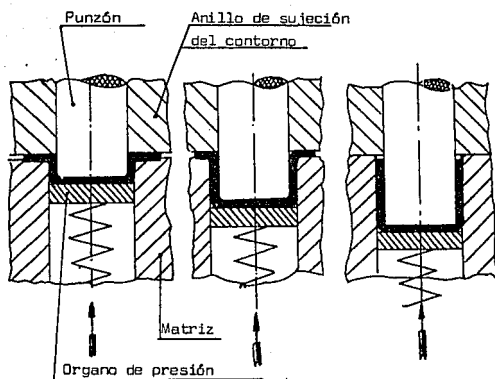


Fig. 43.- Algunas fases durante la operación de embutido.

Un medio sencillo para evitar la formación de pliegues por recalcado consiste en utilizar una herramienta con pisador, (Fig. 44), en el cual dicho pisador presiona la chapa contra la matriz impidiendo teg

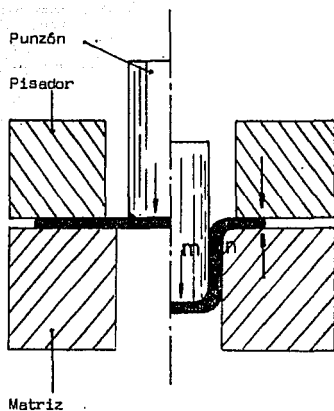


Fig. 44.- Embutido con pisador plano.

ricamente al metal desplazarse en el sentido perpendicular al plano.

Este pisador debe tener un grosor suficiente para soportar la de flexión interna bajo las cargas más severas que establecen los esfuerzos en el cospel.

La aplicación de esta presión de contención, aunque elimina la formación de pliegues, crea una condición donde el cospel se engrosa uniformemente alrededor del borde. Este engrosamiento es progresivo cuando el cospel pasa a través de la cara de la matriz hasta el radio más pequeño.

También se debe tomar en cuenta la oposición del metal al movimiento; la influencia combinada de estos dos factores de restricción tomados en conjunto son los que influyen en lo que respecta a qué cantidad de cualquier diámetro de cospel pueda ser reducido en cualquier operación de embutido.

Cuando el cospel es embutido, su circunferencia se reduce. El metal en cualquier anillo hacia la circunferencia exterior es continuamente "aglomerado", cuando es jalado hacia el centro.

Esta "aglomeración" cesa, cuando el metal pasa sobre el radio de la matriz, dentro de la pared lateral del envase. Es evidente que el buen resultado de una operación de embutido depende en gran parte de lo siguiente:

- 1.- La ductilidad del material que es embutido.
- 2.- La limitación de la fuerza del punzón hasta algo menos de la resistencia de la pared del envase y,
- 3.- El ajuste de la presión en el pisador para evitar la formación de arrugas.

5.2 DESCRIPCION DE UNA ESTAMPA

Ahora es conveniente tener un conocimiento básico de los elementos constitutivos de una estampa y la función que éstos desempeñan, como lo muestra la figura 46.

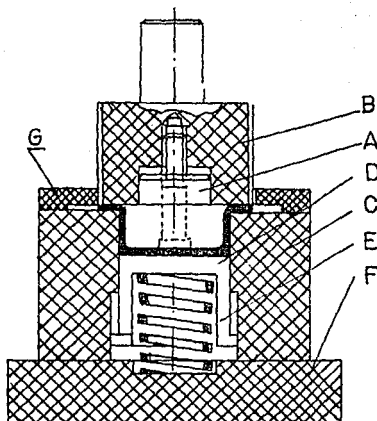


Fig. 46.- Esquema de una estampa sencilla para embutir.

A: Punzón

E: Muelle

B: Porta Punzón

F: Base

C: Matriz

G: Disco o pieza
de retención

D: Casquillo

El cospel para embutir se coloca bajo la pieza de detención, garantizando un buen embutido sin pliegues. El punzón y el portapunzón — constituyen una unidad, la cual va fija a la parte móvil de la prensa; — el macho ó punzón durante su descenso hacia el Cospel, penetra en la matriz y moldea el objeto.

El casquillo que al inicio de la operación se encontraba en la parte superior, es bajado por la presión del punzón, acompañando al Cospel, al mismo tiempo que comprime el muelle, la misión del casquillo es evitar el arrollamiento del Cospel. Al finalizar la operación el punzón retrocede, abandonando libremente el casquillo, que bajo la acción del muelle (ó de un taco de goma) expulsa la pieza embutida.

5.3 ESFUERZO EN LA SECCION DEL RECIPIENTE Y PRESION NECESARIA DE EMBUTIDO

Antes de proceder a un análisis más profundo del proceso de embutido, es interesante examinar, algunos conocimientos generales, sobre — él.

La forma de comportarse del material cuando se somete a este tipo de trabajo mecánico, del examen práctico siguiente, conoceremos el carácter de las fuerzas y sus respectivos sentidos de orientación.

De acuerdo a la figura 47, tenemos que de un Cospel "A" de un — diámetro D , se ha obtenido un cilindro hueco B del diámetro d y altura h , suponiendo que la transformación tiene lugar a espesor constante.

El disco del fondo B no sufre deformación, la pared cilíndrica — por el contrario ha sido deformada, ya que inicialmente constituía la corona circular de anchura H_0 , delimitada por los diámetros D y d , del Cos

pel. En la figura vemos que el elemento S_0 (indicado en trazo continuo — sobre la corona del disco), experimenta un cambio de forma de trapezoidal a rectangular (indicada en trazo continuo).

El elemento S_0 es doblado a 90° , verificándose en este cambio — que la altura h del cilindro es mayor que la altura h_0 del elemento trapezoidal plano, por lo tanto cada elemento durante la operación es sometido a fuerzas radiales de tracción y fuerzas tangenciales de compresión.

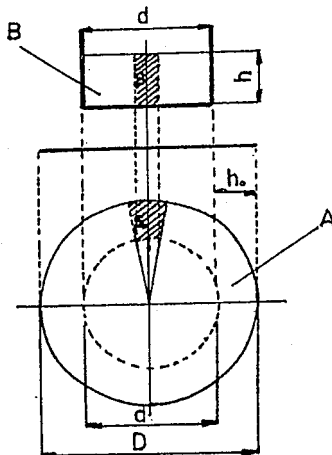


Fig. 47.- Demostración práctica de la deformación que ha experimentado el material de un recipiente embudido.

En el análisis siguiente nos proponemos obtener la presión de empuje en función de la carrera h del punzón y el espesor del Cospel. En la figura 4B, vemos que el elemento (zona rayada) se somete a los esfuerzos radiales de tensión y tangenciales de compresión; de donde las fuerzas tangenciales σ_t son iguales respecto a la dirección radial.

Consideremos las tensiones σ_r y $\sigma_r + d\sigma_r$ que actúan sobre las superficies $Xd\alpha$ y $(X + dX)d\alpha$, donde $d\sigma_r$ es la variación de la tensión en el correspondiente espacio elemental dx , siendo $\sigma_r > \sigma_t$. el elemento está sometido a una fuerza radial expresada por:

$$(X+dX).d\alpha . (\sigma_r+d\sigma_r) - X. d\alpha . \sigma_r$$

y la fuerza tangencial dada por:

$$2.dx . \text{sen } \frac{d\alpha}{2} . \sigma_t$$

σ_t = esfuerzo tangencial (compresión)

σ_r = esfuerzo radial (de tensión)

y por otro lado, considerando que:

$$R_d = \frac{r_d}{M}$$

donde:

R_d = resistencia real a la deformación.

M = coeficiente de rendimiento.

De acuerdo a lo anterior, tenemos:

$$\sigma_r = \sigma_t = R_d \text{ (suponiendo } M=1)$$

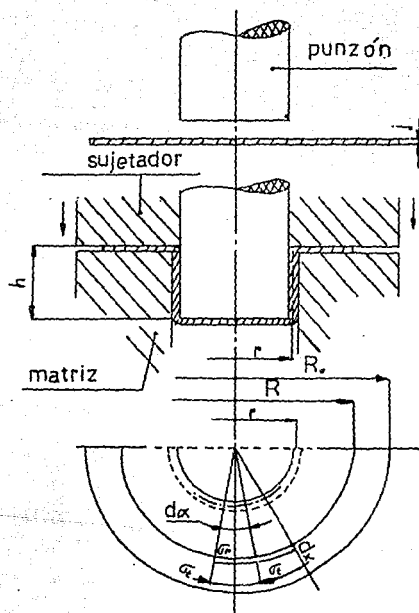


Fig. 48.- Gráfico en el cual se considera un elemento de chapa sometido a la acción de las fuerzas exteriores producidas durante el embutido.

o bien:

$$\sigma_t - \sigma_r = -R_d$$

sustituyendo la ecuación anterior en la ecuación desarrollada anterior--

$$\text{mente } (d\sigma_r - (\sigma_t - \sigma_r) \frac{dx}{dr})$$

se tiene:

$$d\sigma_r = -R_d \frac{dx}{x}$$

El objetivo es conocer la tensión radial correspondiente al borde de la matriz de radio ideal r (radio del punzón + semiespesor del cospel), por consiguiente, integrando la ecuación anterior y resolviendo, se tiene:

$$\int \sigma_r d\sigma_r = \int_a^r -R_d \frac{dx}{x}$$

$$\sigma_r = -R_d (\ln r - \ln R) = R_d (\ln R - \ln r)$$

$$\sigma_r = R_d \ln \frac{R}{r}$$

donde:

σ_r = esfuerzo radial de tensión.

R_d = resistencia real a la deformación.

R = radio de disco

r = radio ideal del punzón.

La fórmula anterior resulta sencilla, siempre y cuando se considere un valor medio de R_d , designado como R_{dm} .

La tensión radial σ_r , se ha considerado sobre un punto en el borde de la matriz de radio ideal r , quedando claro que para la circunferencia-

cuyo perímetro es $2\pi r$, y el espesor del cospel e , se verifica que la fuerza total de deformación está dada por:

$$P_d = 2\pi r e \sigma_r$$

de donde sustituyendo el valor de σ_r se tiene:

$$P_d = 2\pi r e R_{dm} \ln \frac{R}{r}$$

Los valores de R_d , se determinan mediante resultados teóricos prácticos, siendo función de la deformación; aumentando de valor cuando ésta se incrementa.

5.4 TAMAÑO DEL COSPEL DE UN ELEMENTO EMBUTIDO

La determinación del tamaño del cospel adecuado, se basa en estudios teóricos y prácticos, cuyo principal objetivo es el utilizar la menor cantidad de material posible. En la obtención del tamaño del cospel en cuerpos irregulares, se procede a una serie de pruebas y ensayos con diferentes dimensiones de chapas para embutidos hasta encontrar la más adecuada y así fabricar las respectivas estampas para su elaboración.

El cálculo dado a continuación, basado en el método de superficies equivalentes, es válido únicamente para cuerpos con forma geométrica regular, de líneas rectas y de sección regular.

- 1) Obtener el diámetro D del cospel necesario para la obtención de una pieza embutida de diámetro d y altura h utilizando el mínimo material (ver figura 49).

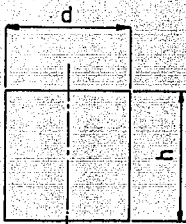


Fig. 49.- Recipiente cilíndrico.

Memoria de cálculo:

S = Superficie del cospel a embutir = a superficie del cuerpo embutido.

La superficie del cospel viene dada por:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}$$

La superficie de la pieza embutida es:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} + \pi dh$$

Igualando las ecuaciones anteriores tenemos:

$$\pi D^2 = \pi d^2 + 4 \pi Dh$$

despejando D se llega a:

$$D = \sqrt{d^2 + 4 dh}$$

donde:

D = Diámetro del cospel

d = Diámetro de fondo del recipiente embutido

h = Altura del recipiente embutido.

El diámetro para un cubilete análogo al de la figura 66 en el cual los cantos del fondo son redondeados de radio r_0 es:

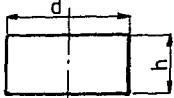
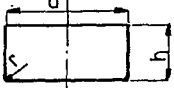
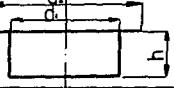
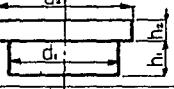
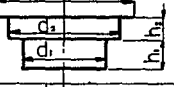

$$D = \sqrt{d^2 + 4 dh} - r_0$$

En el ejemplo anterior se ha visto la secuencia a seguir para el dimensionamiento de un cospel en la fabricación de una pieza. De la misma forma se han obtenido ecuaciones para otras piezas geométricas, ya sea de forma regular o irregular.


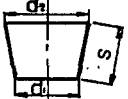
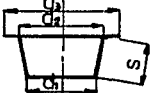
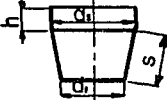
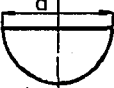
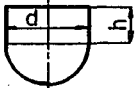
A continuación damos una serie de ecuaciones para la determinación del tamaño del cospel de diversas geometrías.

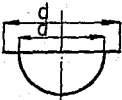
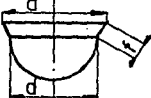


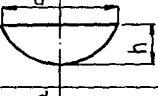
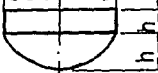
Desarrollo de las piezas embutidas.

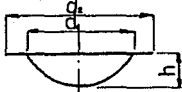
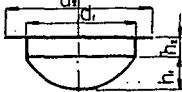

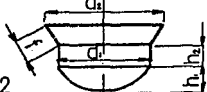
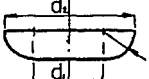
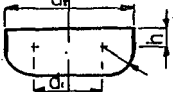
TABLA 25. Las fórmulas dan el diámetro D del disco desarrollado.

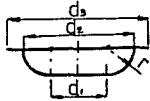
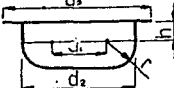
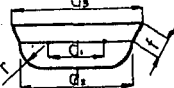
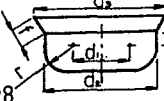
Forma del recipiente	Diámetro del disco D =
1 	$\sqrt{d^2 + 4dh}$
2 	$\sqrt{d^2 + 4dh - r}$
3 	$\sqrt{d_2^2 + 4d_1h}$
4 	" $\sqrt{d_2^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2)}$
5 	$\sqrt{d_3^2 + 4(d_1h_1 + d_2h_2)}$
6 	$\sqrt{d_1^2 + 4d_1h + 2f(d_1 + d_2)}$

(Sigue)

Forma del recipiente	Diámetro del disco $D =$
<p>7</p> 	$\sqrt{d_2^2 + 4(d_1 h_1 + d_2 h_2) + 2f(d_2 + d_3)}$
<p>8</p> 	$\sqrt{d_1^2 + 2s(d_1 + d_2)}$
<p>9</p> 	$\sqrt{d_1^2 + 2s(d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$
<p>10</p> 	$\sqrt{d_1^2 + 2[s(d_1 + d_2) + 2d_2 h]}$
<p>11</p> 	$1.414 d$
<p>12</p> 	$1.414 \sqrt{d^2 + 2dh}$

Forma del recipiente	Diámetro del disco D =
 <p>13</p>	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$
 <p>14</p>	$1.414 \sqrt{d_1^2 + f(d_1 + d_2)}$
 <p>15</p>	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4d_1h}$
 <p>16</p>	$1.414 \sqrt{d_1^2 + 2d_1h + f(d_1 + d_2)}$
 <p>18</p>	$\sqrt{d_1^2 + 4h_1^2}$
 <p>18'</p>	$\sqrt{d_1^2 + 4(h_1^2 + d_1h_2)}$

Forma del recipiente	Diámetro del disco $D =$
19 	$\sqrt{d_2^2 + 4h^2}$
20 	$\sqrt{d_2^2 + 4(h_1^2 + d_1 h_2)}$
21 	$\sqrt{d_2^2 + 4h^2 + 2f(d_1 + d_2)}$
22 	$\sqrt{d_1^2 + 4(h_1^2 + d_1 h_2) + 2f(d_1 + d_2)}$
23 	$\sqrt{d_2^2 + 2.28rd_2 - 0.56r^2}$
24 	$\sqrt{d_2^2 + 2.28rd_2 - 0.56r^2 + 4d_2 h}$

Forma del recipiente	Diámetro del disco D =
 <p>25</p>	$\sqrt{d_3^2 + 2.28 r d_1 - 0.56 r^2}$
 <p>26</p>	$\sqrt{d_3^2 + 4 d_2 (0.57 r + h) - 0.56 r^2}$
 <p>27</p>	$\sqrt{d_2^2 + 2.28 r d_2 - 0.56 r^2} + 2f(d_2 + d_3)$
 <p>28</p>	$\sqrt{d_2^2 + 4 d_2 (0.57 r + h + 1/2 f) + 2 f d_3 - 0.56 r^2}$

5.5 PRESION EJERCIDA POR EL PISADOR.

Se debe considerar de gran importancia la presión ejercida por el pisador durante el proceso de embutido. Una presión insuficiente provoca una disposición desordenada de la chapa cuando es introducida en el hueco de la matriz, produciendo pliegues y arrugas; por el contrario, — una presión excesiva provoca el alargamiento y la rotura del material. — La presión adecuada se determina prácticamente a partir de la mínima, au mentándola gradualmente hasta obtener una pieza con paredes lisas.

La presión total p del sujetador, para los cuerpos cilíndricos, — calcula por la siguiente fórmula:

$$P = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p$$

donde:

D = diámetro del cospel, en centímetros.

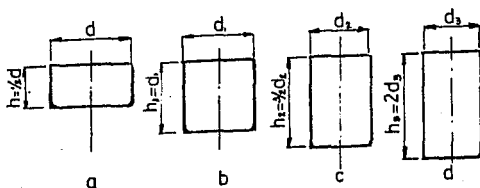
d = diámetro del hueco de la matriz, en centímetros.

p = presión específica en Kg/cm².

5.6 RELACIONES DE EMBUTIDO PARA OBJETOS CILINDRICOS.

La profundidad que se puede lograr con una sólo operación de embutido, es difícil establecerse con exactitud, dado que ésta depende de la relación entre el diámetro y la profundidad del recipiente a obtener. De un modo aproximado y en una sola operación, una profundidad de embutido es igual a la mitad del diámetro para las piezas pequeñas e igual a — un tercio del diámetro para piezas grandes. Para profundidades mayores, — serán necesarias tantas operaciones por cuantas veces la profundidad sea mayor que el límite máximo indicado, la figura 50, que se refiere a embu

tido de pequeñas dimensiones de chapa de acero dulce y forma cilíndrica nos da una mejor idea de estas consideraciones.



A alcanzar en una operación

A alcanzar en dos operaciones

A alcanzar en tres operaciones

A alcanzar en cuatro operaciones.

Fig. 50.- Número de operaciones necesarias con relación a la profundidad del embutido (para piezas pequeñas).

En el caso de piezas cilíndricas de dimensiones grandes, la figura 51 — nos muestra las operaciones necesarias con relación a la profundidad de embutido.

El número N de operaciones requeridas para obtener un recipiente se expresa por:

$$N = \frac{h}{\epsilon d} = \frac{m}{\epsilon} \frac{d}{d} = \frac{m}{\epsilon}$$

donde:

m = número de los diámetros, contenidos en una profundidad.

d = diámetro medio del recipiente.

TABLA 26.
**Relaciones de embutido para piezas cilíndricas huecas obtenidas
 de discos de chapa**
(Empleo del sujetador elástico)

Símbolos: D = diámetro del disco; d = diám. de la pieza; h = altura de la pieza

Material	Primera pasada		Pasadas siguientes
	$\frac{d}{D} = n$	$\frac{h}{d}$	$\frac{d_2}{d} = \frac{d_3}{d_1} = \frac{d_4}{d_2}$
Chapa de acero de embutir	0,60 ÷ 0,65	0,34 ÷ 0,44	0,80
Chapa de acero para embutidos profundos	0,55 ÷ 0,60	0,44 ÷ 0,57	0,75 ÷ 0,80
Chapa para carrocería	0,52 ÷ 0,58	0,49 ÷ 0,67	0,75 ÷ 0,80
" de acero inoxidable	0,50 ÷ 0,55	0,57 ÷ 0,75	0,80 ÷ 0,85
" de aluminio dulce	0,53 ÷ 0,60	0,44 ÷ 0,65	0,80
" de anticorodal recocida	0,60 ÷ 0,70	0,25 ÷ 0,44	0,90
" de avional recocida	0,60 ÷ 0,70	0,25 ÷ 0,44	0,90
" de cobre	0,55 ÷ 0,60	0,44 ÷ 0,57	0,85
" de latón	0,50 ÷ 0,55	0,57 ÷ 0,75	0,75 ÷ 0,80
" de cinc	0,65 ÷ 0,70	0,25 ÷ 0,34	0,85 ÷ 0,90

Empleando el sujetador rígido las relaciones de embutido $\frac{d}{D}$ deben aumentarse del 5 al 10 % y las relaciones $\frac{h}{d}$ disminuirse en el mismo porcentaje.

A base de los numerosos experimentos realizados, se ha llegado a la conclusión de que la relación entre el diámetro y la profundidad del embutido, para una sola fase depende de:

- a) la forma del objeto.
- b) el espesor del cospel empleado.
- c) la eventual diferencia de espesor entre las paredes del objeto.
- d) el tipo y calidad de material utilizado.
- e) el sistema empleado para la construcción de la estampa de embutir.

La tendencia de un cospel a arrugarse, en la forma como se ha descrito disminuye cuando aumenta su espesor. En consecuencia cuando el espesor de un cospel en relación a su diámetro es mayor que un cierto rango crítico, la operación del embutido se puede realizar sin el pisador.

5.7 EMBUTIDO PROFUNDO EN UNA SOLA ETAPA.

En la figura 53, se muestra esquemáticamente el embutido profundo de un cospel circular plano en el cual la única variable es la geometría del punzón. El perfil de la matriz en cada caso se considera entre 4S y 8S, donde S es el espesor del cospel. En la fig. 53 (a), el punzón de cabeza plana, asumimos que tiene un perfil radial de aproximadamente 8S. En este caso el flujo de metal es bien controlado en la región entre el lado y el punzón existiendo poco peligro de fallas por dobleces. La función de la presión del pisador de cospel, en este caso, es principalmente la de prevenir la formación de pliegues en el borde superior. Tanto la formación de arrugas como de pliegues es causada por fuerzas comprensivas inducidas en dirección circunferencial cuando los elementos circun

ferenciales en el cospel son forzados a acortarse cuando son jalados radialmente hacia adentro.

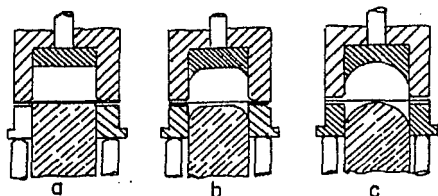


Fig. 53.- Embutido en una etapa (a) Punzón con perfil de radio pequeño; (b) Punzón con perfil de radio grande. (c)-Punzón de cabeza hemisférica.

Cuando el perfil del radio del punzón aumenta, el peligro de formación de pliegues aumenta, dado que la cantidad de material sin soporte entre el punzón y el dado también aumenta. La solución drástica para evitar la formación de pliegues es detener el flujo de material a través — del dado, con lo cual se convierte el proceso en una operación puramente formado-estirado donde todos los elementos en el plano de la hoja están sujetos a fuerzas de extensión. Puesto que ésto contrarresta el objetivo del ejercicio, se trata de mejorar la situación incrementando la presión del pisador hasta suprimir la formación de pliegues. Esto, desde luego, aumenta la tensión radial en el prensado y significa que para el herramienta en la Fig. 53 (c), se necesita recocer el cospel y tener un buen grado de endurecimiento por trabajado cuando se deforma, mientras que pa

ra el herramental en la figura 53 (a), se puede obtener un embutido apropiado aún cuando el cospel esté en un estado parcialmente endurecido por trabajado en frío.

Está claro, por lo tanto, que aún para el mismo material de la hoja, el mismo espesor del cospel y la misma relación de embutido, la presión del pisador depende de la geometría del punzón.

La formación de pliegues y dobleces son dependientes del espesor del cospel, de la relación de embutido y en menor grado, de forma considerable de las propiedades mecánicas del material. Para la geometría de las herramientas ya discutidas se sugiere que para que un espesor de cospel de 0.5 mm., la carga del sujetado será de aproximadamente el 45% de la carga de embutido para la geometría del herramental de la fig. 53 (a) y de 85% para la geometría de las figuras 53 (b) y 53 (c). Frecuentemente se establece que la carga del pisador se incrementa cuando el espesor del material disminuye. Es la carga del pisador expresada como un porcentaje de la carga de embutido la que se incrementa cuando disminuye el espesor del cospel, pero, por supuesto, la fuerza de embutido en sí disminuye cuando disminuye el espesor del cospel.

Con presiones poco considerables donde es necesario asegurar que todas las partes del prensado han sido plásticamente tensionadas, la fuerza del sujetador puede ser tan grande como el 100% de la fuerza de embutido.

5.8 PORCENTAJE DE REDUCCION.

El límite de la profundidad del primer embutido en el trabajo de embutido profundo es difícil de definir, ya que depende de la clase de

metal que se va a embutir, de su calidad, o lo que se llama "grado", de su espesor en relación al tamaño del artículo a embutirse, del adelgazamiento permisible (a engrosamiento), de la pared embutida y del radio -- tanto del punzón como de la matriz. Para propósitos generales, la mayor profundidad algunas veces se establece del 45 a 65% del diámetro del cos pel para piezas cilíndricas.

Cuando el reembutido se realiza a mayores profundidades, Fig. 54 el diámetro se reduce en cantidades menores en cada paso; en el reembuti do de doble acción con el uso de un pisador, las reducciones sucesivas - pueden ser del orden de hasta 25%, 20%, 16%, 13%, 10%, etc.

La Fig. 54, nos da una idea de las reducciones que se pueden con siderar en envases producidos en varias operaciones. La primera opera-- ción de embutido puede realizarse con un pisador exterior, tal como se - muestra en la fig. 55 ó en la 56. La segunda, tercera y sucesivas opera-- ciones pueden realizarse con el uso de un pisador interior, como se mues tra en la Fig. 57. El pisador interior sostiene el envase parcialmente - terminado, en su extremo inferior, mientras que el punzón lo embute in-- crementando así su profundidad y reduciendo su diámetro.

Todas las operaciones anteriores requirieren una prensa de doble - acción, excepto en los diámetros más pequeños, como en la quinta opera-- ción, la cual indica una operación de dimensionamiento; aquí se requiere una matriz plana de "empuje" sin pisador, que puede ser operada en una - prensa de simple acción con suficiente fuerza de golpe y capacidad Fig.- 58.

5.9 PISADORES.

Un pisador o placa de presión es, como su nombre lo indica, es--

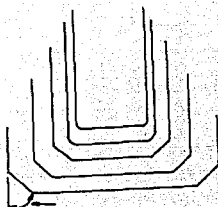


Fig. 54.- Pasos Típicos en embutido,
reembutado y dimensionamiento.

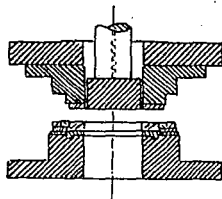


Fig. 55.- Matriz de embutido con
punzón, sujetador exterior y
filos cortantes.

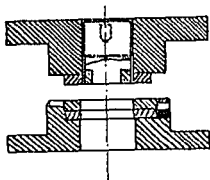


Fig. 56.- Matriz Plana de embu-
tido por empuje, con
punzón y sujetador ex-
terior, pero sin fi-
los cortantes.

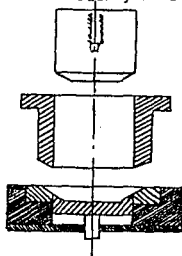


Fig. 57.- Matriz de embutido, pun-
zón, sujetador interior
y botador.

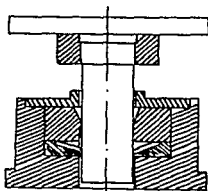


Fig. 58.- Matriz para dimensiona-
miento de acción simple.

encialmente una placa plana que sujeta el cospel entre su cara inferior y la cara plana superior de la matriz de embutido. Para poder ensamblarse debe tener una perforación central con la forma igual a la del punzón. Para asegurarse que cualquier área del cospel por pequeña que sea permanezca sin ser sujeta, es importante que tal perforación no sea más grande que la garganta de la matriz de embutido o (si el espacio es limitado) que la línea donde el radio de embutido se dobla hacia la cara superior de la matriz.

Los pisadores son de dos tipos básicos: rígidos y móviles. El tipo rígido da un claro constante a través del cual debe fluir metal, mientras que el tipo móvil proporciona un claro variable que depende de la fuerza ejercida de los resortes o de los émbolos ya sea neumáticos o hidráulicos, ejerciendo la misma fuerza en diferentes áreas del sujetador.

La primera y principal función de un pisador es la de evitar la formación de pliegues, lo cual se consigue sujetando la zona plana exterior sin embutirse del cospel con una fuerza suficiente para asegurar que en lugar de formarse pliegues se adelgace de una manera uniforme.

La función secundaria es la de controlar el flujo del metal sobre el perímetro de embutido, tal control puede realizarse variando la presión de sujeción aplicada. Generalmente la superficie de contacto del pisador es plana, pero algunas veces es ligeramente cóncava para que el claro entre él y la matriz se incremente gradualmente cuando se aproxima al radio de embutido.

La tendencia que presenta cualquier cospel a la formación de pliegues, disminuye no solamente aumentando la presión del pisador sino

también incrementando el espesor del cospel. Generalmente es preferible aplicar una presión más baja, lo cual evitará la formación de pliegues. Esto se explica por el hecho de que al aumentar la restricción en el flujo del cospel como resultado de la presión en el pisador, aumenta el esfuerzo de tensión que la pared de la parte embutida del envase parcialmente formado tiene que soportar para permitir que la parte restante sea embutida a través de la garganta de la matriz, sin quebrarse.

Entre más delgado sea el cospel mayor será la fuerza requerida - para evitar la formación de pliegues, por lo tanto para una hoja muy delgada tendría que usarse un lubricante de alta eficiencia para reducir la fricción bajo el pisador, con lo cual, el esfuerzo de tensión en la pared de la parte embutida del envase, se reduce también tanto como sea posible. Por lo contrario un cospel grueso puede embutirse sin pliegues y sin la ayuda del pisador.

Algunas veces, particularmente cuando se usa un pisador con claro constante, es útil poder calcular con qué espesor pasará el cospel bajo el pisador. Si el movimiento de una pequeña parte cerca de la periferia del cospel se realiza durante la operación de embutido, se verá que su espesor aumenta gradualmente mientras avanza hacia el radio de la matriz de embutido, y que durante su paso a través de la garganta de la matriz se adelgaza por tensión.

Si el espesor de la pared de la pieza embutida es el mismo que el del cospel original, la cantidad de engrosamiento bajo el que está sujeto el cospel cuando llega al radio de embutido debe ser igual al consiguiente adelgazamiento que se produce cuando pasa sobre el radio de embutido y a través de la garganta de la matriz.

La cantidad de engrosamiento temporal puede ser calculado a partir de la siguiente ecuación:

$$t_1 = S \cdot \frac{F/D + 1}{2}$$

donde, t_1 = engrosamiento temporal del cospel

S = espesor inicial del cospel

F = diámetro original del cospel

D = el diámetro del cospel cuando llega al radio de embutido.

5.10 - EMBUTIDO PROFUNDO EN VARIAS ETAPAS -

La producción de envases cilíndricos grandes por embutido profundo y reembutido, comúnmente se lleva a cabo en por lo menos tres diferentes tipos de prensas: una hidráulica con embutido profundo, teniendo lugar dentro de un fluido a presión; una prensa de transferencia y una prensa hidráulica equipada con herramienta telescópica. En la Fig. 59 se muestra un diagrama esquemático de una máquina herramienta para doble embutido.

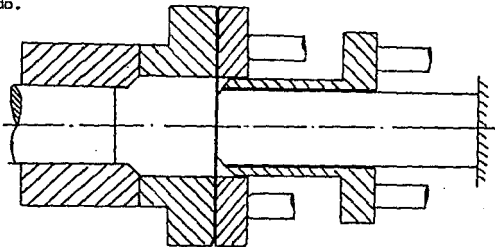


Fig. 59.- Diagrama esquemático de la herramienta.

Para la operación de la primera etapa, el punzón y la camisa del punzón juntos, forman la herramienta de la misma etapa. Cuando el lado móvil superior toca la camisa del punzón, esta última es forzada a descender y actúa como pisador para la segunda etapa de operación que comienza en este punto.

La presión depende de la velocidad del émbolo y por lo tanto es importante los valores para tener una velocidad adecuada de embutido.

Estableciendo los valores a una velocidad baja, se producirán altas presiones del sujetador y de la camisa del punzón a altas velocidades de embutido.

El efecto de la presión del pisador en el embutido de la primera y segunda etapa puede apreciarse en la Fig. 60.

Las distribuciones de los esfuerzos en el espesor muestra tres "cuellos", A, B y C, en las posiciones indicadas en el diagrama del punzón y camisa del punzón.

El cuello B en la copa de la primera etapa es causada por una ligera falta de choque del punzón y la camisa del punzón. El cuello más grande en la primera etapa es el C, como se podría esperar. Está claro que cuando se aumenta la presión de sujeción arriba de la necesaria para evitar la formación de pliegues tendrán un efecto considerable en el espesor de la copa final. El efecto del incremento de la presión en la manga del punzón también influirá en la distribución del espesor de la copa en la segunda etapa. (Fig. 61).

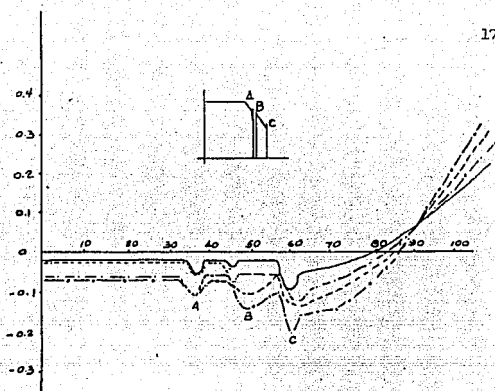


Fig. 60. Efecto de la fuerza del sujetador de cospel, P , en la distribución de esfuerzos en el espesor, en la 1a. y 2a. etapa de embudo. --- 1a. etapa $P_1 = 54.12 \text{ KN}$ - - - 1a. etapa $P_1 = 82.24 \text{ KN}$ --- 2a. etapa $P_2 = 32.42 \text{ KN}$ -o-o- 2a. etapa $P_2 = 32.42 \text{ KN}$.

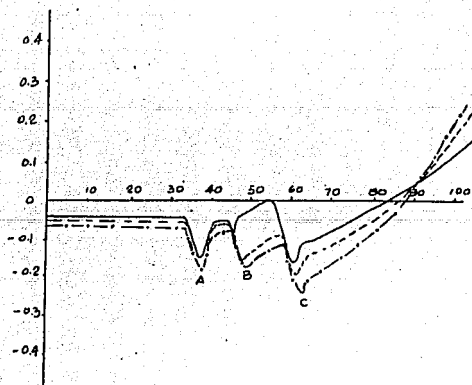


Fig. 61. Efecto de la fuerza P_2 de la camisa del punzón en la distribución de esfuerzos en el espesor en la segunda etapa.

El efecto de la velocidad en la distribución de esfuerzos en el espesor es más difícil de medir puesto que es importante asegurarse de que las presiones en el sujetador y en la camisa del punzón se mantendrán a los mismos valores a todas las velocidades.

Considerando que una etapa crítica en la formación del cuello no ha alcanzado altas presiones del sujetador y de la camisa del punzón, —causarán adelgazamiento extra y esto produce un prensado ligeramente más profundo.

La presión del sujetador en la primera etapa de embutido debe —mantenerse constante y aunque con esto se evita tanto la formación de —arrugas como de pliegues cuando se usan ángulos de filo de embutido entre 20° y 45°, es claro que cuando se usan ángulos de 50°, la formación de pliegues ocurrirá en la primera etapa. La cantidad de pliegues puede reducirse incrementando la presión del pisador pero esto aumenta el adelgazamiento en la copa de la primera etapa hasta un valor que no es aceptable. Aumentando el ángulo de embutido significa que el material entre el punzón y la matriz en la primera etapa de embutido se encuentra bajo menor control y que hasta cierto punto será realmente difícil evitar la formación de pliegues.

En la producción de envases cilíndricos largos por embutido profundo de materiales de calibre delgado, los dos factores más importantes son el claro radial entre el punzón y la matriz, y si se usa un herramienta sencillo, una geometría apropiada de la herramienta para prevenir la formación de pliegues.

El claro radial efectivo dependerá tanto de la anisotropía planar como normal de la hoja o cospel, y es importante una vez estable—

cido un proceso particular, tratar de mantener la consistencia del material del cospel.

5.11 HERRAMIENTAS

El diseño correcto de las herramientas es la respuesta a la mayoría de los problemas que se presentan en el embutido. El material para las herramientas dependerá hasta cierto punto de la calidad y cantidad de artículos a producir. En general las matrices y los punzones se hacen de aleaciones de alto grado o aceros al carbón, que en algunos casos puede ser Cromio plateado para reducir la fricción. Los aceros al carbón al 1% endurecidos por agua pueden usarse para fabricar buenas matrices, pero para punzones los aceros del tipo carbón-magnesio-cromo de baja aleación son generalmente más adecuados debido a su alta resistencia a la compresión que se presenta, además la resistencia del núcleo es esencial. El trabajo de embutido severo a altas velocidades puede ser realizado mejor con acero al carbón-cromo endurecidos por aire, donde la gran dureza proporciona buena resistencia al uso y minimiza los efectos de remoción de material en la superficie del metal, problema que es experimentado más con aleaciones de aluminio suave que con muchos otros materiales más duros utilizados para embutido profundo. Para producciones pequeñas, los grados especiales de hierro colado darán resultados razonables en las herramientas con un maquinado más preciso, y proporcionan un pulido final mucho mejor. De hecho, la necesidad de terminados muy pulidos no tiene mayor importancia, el aluminio tiene un alto coeficiente de fricción y cualquier posible precaución debe tomarse en cuenta para prevenir la erosión en las herramientas, ya sea en las superficies de las matrices o de casi igual importancia en la periferia del punzón. Un punzón debe estar apropiadamente ajustado, de otra manera cuando emerge de

una pieza cilíndrica, se formará un vacío entre el punzón y la pared de la pieza, lo cual, en el caso de una pieza de pared delgada, puede producir su ruptura ó aún en piezas más duras, pueden ser embutidas y deshechadas por este efecto.

El radio de la base de una pieza embutida se hace por el radio del punzón, y aunque puede ser gobernado por el uso final de la pieza, el límite usual no debe ser menor de 4 veces el espesor del metal y probablemente un poco mayor. Si la pieza debe llevar esquinas afiladas, se puede realizar una operación posterior para agudizarlas. Un radio demasiado pequeño del punzón puede adelgazar al metal de tal forma que fallaría baja las cargas de embutido, mientras que un radio muy grande deja mucho metal fuera de control y puede producir dobleces o arrugas, aunque se incremente la presión del sujetador.

De mayor importancia que el radio del punzón, es el de la matriz. Como en el caso del punzón, un radio largo en la matriz dejará metal fuera de control, lo que provocará la formación de dobleces o pliegues; un radio demasiado pequeño causará una retención en el flujo del metal cuando éste se dobla sobre el extremo agudo, y ésto por lo tanto, conduce a una reducción en el espesor, lo cual puede ser la causa de que se presenten algunas fallas.

En la práctica, el radio variará según el espesor del metal y dependerá en parte de las propiedades de doblado del metal que se va a embutir. Los metales más blandos y delgados requieren un radio de aproximadamente 4 veces el espesor del metal, pero para metales más duros y gruesos, el radio puede ser incrementado hasta 6 u 8 veces el espesor del metal.

Una vez decididos los radios del punzón y de la matriz, el problema del claro entre ellos debe establecerse antes de que se fabriquen. Este claro de embutido es proporcional al espesor del metal, porque, como se mencionó anteriormente, existe un cierto engrosamiento del metal cuando se aproxima el radio de la matriz, por lo cual se debe tener una cierta tolerancia en el claro, de otra manera, la fricción en la pared puede ser tan alta que produzca fractura del metal. Los claros generalmente son del rango de 6% hasta 20% el espesor original del metal. Existe un desacuerdo entre los fabricantes de herramientas sobre las condiciones ideales.

5.12 FIGURAS AHUSADAS Y CON FORMA DE DOMO.

Las piezas rectangulares son más difíciles de embutir que las circulares y estas dificultades se incrementan cuando se considera un re embutido.

Las reducciones son casi imposibles de calcular, aunque si los radios de las esquinas son grandes, se aproximan a las usadas en piezas cilíndricas de radios similares. En general con piezas rectangulares cuando la profundidad es mayor de aproximadamente cuatro veces el radio de la esquina, es necesario volver a embutir.

Los recipientes ahusados y en forma de domos requieren una atención especial, principalmente porque al embutir estas figuras, gran parte del material es estirado y generalmente se encuentra fuera de control. El embutido donde el metal está fuera de control, requiere mayor presión del pisador para evitar los dobleces, esto significa que el material debe, por lo tanto, tener un adecuado esfuerzo de tensión, aunque -

debe tener también suficiente elongación para cuidar el alargamiento a - que está sujeto.

Es bueno señalar que estas figuras pueden ser obtenidas general- mente a partir de materiales más resistentes, tales como acero inoxida- ble, con considerable menor número de embutidos, porque pueden resistir- los esfuerzos producidos cuando se usan pisadores de alta presión para - prevenir los dobleces o pliegues.

5.13 PRESIONES Y VELOCIDADES DEL EMBUTIDO.

Cuando el punzón ejerce presión en el centro de un cospel, embu- te el metal dentro de la matriz, pero hay varias fuerzas que se oponen - al movimiento del metal. Primero tenemos la presión del pisador en la - parte exterior del cospel, para prevenir que se formen pliegues, luego, - cuando el metal se mueve hacia el perímetro de la matriz, los esfuerzos- de compresión tienden a incrementar el espesor del metal, el cual, por - consiguiente aumenta la presión sujetadora de la hoja que se embute. Es- to, junto con el doblado circular de la periferia de la pieza embutida - y la fricción sobre la prensa, todo constituye una resistencia al flujo, la cual debe ser superada por la presión del punzón sobre el centro del- cospel. Este esfuerzo, que es transferido a las paredes laterales verti- cales no debe exceder al que puede soportar el espesor de la pared. Una- guía burda para calcular la presión, puede considerarse con la siguiente forma (J. W. Lengbridge, "Pressing Aluminium").

$$P = \pi d f (D/d - c)$$

P= presión total

D= diámetro del recipiente

- S= espesor del metal
 F= diámetro de la hoja
 f= esfuerzo de la prueba del material recocido en Kg/cm²
 c= constante de 0.6 a 0.7 para cubrir la fricción y el doblado.

La resistencia del recipiente obviamente debe ser suficiente para soportar esta presión, y debe calcularse tomando el esfuerzo último del cospel original y multiplicándolo por el área del metal en las paredes del recipiente. Ambos cálculos mencionados antes son valores mínimos porque, cuando se procede a embutir, el material es endurecido y para realizarse, en la práctica la presión de embutido debe ser aproximadamente el doble, lo que tal cálculo indica solo puede tomarse como una guía muy superficial.

La prensa mecánica a través de su mecanismo de biela, da golpes los cuales no son de una velocidad constante. Existe poco movimiento en los lados al principio del recorrido, aumentando su velocidad a la mitad del golpe y disminuye cuando se aproxima al final del recorrido. Generalmente el trabajo se realiza desde aproximadamente a la mitad de la carrera y con esto, el impacto en la pieza a trabajarse se toma cuando el punzón se mueve a velocidad. En el caso de las prensas hidráulicas, sin embargo, la velocidad del pistón puede ser controlada de tal forma que no dé un impacto repentino con la placa, sino que mantenga una velocidad constante en toda la carrera. La ventaja de esta prensa es que proporciona al metal una mejor oportunidad de flujo uniforme.

Para metales que se endurecen por trabajo rápidamente o para embutido profundo de recipientes grandes, es más apropiado usar velocidades más bajas que para el tipo de aleaciones comerciales o para recipientes

tes pequeños; es por esta razón que algunas aleaciones y formas son más satisfactoriamente embutidas en prensas hidráulicas. Una estimación burda de las velocidades de embutido es desde alrededor de 9.14 M/min para recipientes grandes o difíciles hasta 24.4 M/min, para embutidos ligeros, aunque en algunas prensas de simple acción se han probado velocidades considerablemente más altas.

5.14 DEFECTOS

Algunos de los defectos más comunes asociados con el metal son los siguientes:

1.- Variación en el tamaño de grano.

En general, como el tamaño de grano aumenta, las cualidades de embutido disminuyen; el metal con grano muy grueso formará un "cuello" y posiblemente se partirá, mientras que con un metal de grano más pequeño puede producirse una "descascarada de naranja" en el radio comprendido entre el fondo y las paredes laterales, y éstas pueden ser en cierta forma ásperas.

2.- Direccionalidad.

Cuando hay variaciones considerables en las propiedades físicas del metal con relación a la dirección de su rodamiento, ésto producirá lo que generalmente se denomina "orejeo", dando la apariencia de ondas alrededor de los filos del recipiente embutido. Generalmente en número de cuatro, pueden presentarse en la dirección del rolado en ángulos rectos a él, o algunas veces a 45°, dependiendo de los procedimientos de la aleación, rolado y recocido que se usen cuando se produce el metal.

3.- Líneas de Flujo.

Estas aparecen como líneas parabólicas de superficie abierta y mientras que siempre se presentan hasta cierto punto, en los métodos modernos de producción, se han eliminado prácticamente como problema del embutido.

4.- Variación del calibre.

Las variaciones de calibre en cualquier material, en particular son poco frecuentes, pero cuando se presentan, producen recipientes de lados "podados", debido a que una parte de la pieza por embutir ha sido sujeta más fuertemente por el pisador, o en casos extremos ocurre un planchado mayor en una parte de las paredes laterales que en otra. Las variaciones de calibre de una hoja a otra dentro de los límites especificados, sólo tendrá poco efecto, aunque obviamente cuando el material original está en el límite inferior del calibre, el recipiente terminado no será tan alto como cuando se produce a partir de un material más grueso.

5.- Terminado superficial.

Es muy inadecuado rechazar completamente el material basándose en su apariencia, porque frecuentemente una pieza de apariencia burda dará un producto con un terminado satisfactorio después de embutirse. Por el contrario, una buena apariencia antes del embutido, no necesariamente significa un terminado satisfactorio. Sin embargo, es importante que la superficie del metal deba estar limpia y libre de manchas tales como vejigas, raspaduras por rolado, desgajaduras, estillamiento, corrosión, etc., porque éstas pueden verse aún después del embutido, y en casos severos, pueden ser la causa de fracturas de la pieza bajo los esfuerzos de embutido.

Asumiendo que el material es estandar, los defectos que pueden ser causados por herramientas inapropiadas y otros errores en su fabricación son:

Arrugas en la pared o formación de ondas o bordos a lo largo de las paredes:

- a) Presión insuficiente en el sujetador de piezas, permitiendo que ocurra la formación de pliegues en el flanco y que se produzca sobre el perímetro de la matriz.
- b) Un punzón demasiado grande o radio de la matriz hará difícil controlar el metal.
- c) Un claro entre el punzón y la matriz demasiado grande.
- d) Un dado no colocado centralmente, con respecto al punzón, lo que permitirá que el metal fluya más fácilmente en unos de los lados que en el otro.

Pliegues y rizos en las paredes de formas de domo y ahusadas:

- a) Presión insuficiente del pisador.
- b) Tratar de embutir con demasiadas pocas operaciones.

Marcas de embutido mostrando rayas o líneas verticales en el exterior:

- a) Lubricación insuficiente e inadecuada o posiblemente basura o impurezas en el lubricante.
- b) Superficie burda o áspera en el contorno circunferencial de la matriz.

- c) Descascarillado en el dado o matriz.

Marcas de embutido mostrando rayas o líneas verticales en el interior:

- a) Impurezas o basura en el punzón.
- b) Superficies ásperas en las paredes del punzón.

Anillos circunferenciales en las paredes laterales (solamente en recipientes re-embutidos).

- a) Periferia del punzón demasiado aguda.
- b) Periferia del radio de la matriz demasiado aguda.

Depresiones o huecos en el fondo de los recipientes:

- a) Herramientas con fondos ásperos.
- b) Impurezas entre el punzón y la pieza.

Fractura y formación de cuellos cerca de la periferia del fondo del recipiente:

- a) Radio del punzón demasiado pequeño.
- b) Presión muy alta del sujetador de piezas.
- c) Presión del sujetador muy baja, lo que permite la formación de pliegues y la consiguiente restricción del flujo del metal.
- d) Claros entre el dado y el punzón demasiado pequeño, produciendo cargas de planchado excesivas.

Fractura en la parte superior del recipiente:

- a) Radio de la matriz muy pequeño.

Fig. 62.- Método de embutido para utensilios
de fondo grueso.

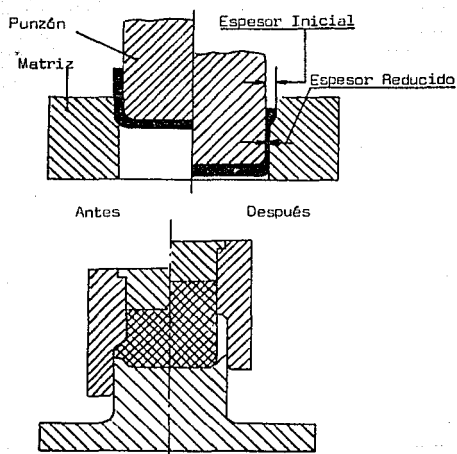


Fig. 64.- Formación de rebordes en la pared
en embutido de recipientes.

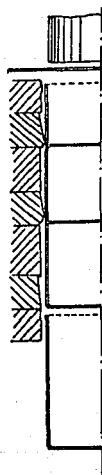


Fig. 63.- Anillos
para planchado.

- b) El radio de la matriz no concuerda con la superficie de la matriz.
- c) Un claro entre el dado y el punzón demasiado pequeño.

5.15 APLICACIONES ESPECIALES.

Sin apartarnos de la práctica normal del embutido profundo, se deben mencionar algunas aplicaciones especiales. El método de reducir el espesor de la pared por "planchado" e incrementando su altura, se acude a menudo a él y en general es empleado para producir el espesor básico de los utensilios de cocina que se recomiendan para usarse en estufas eléctricas Fig. 62; usualmente se producen a partir de placas circulares de un espesor de 6.35 mm, las paredes son adelgazadas hasta aproximadamente 2.03 mm., o hasta 1.63 mm., de espesor. Algunas veces la operación de planchado es detenida antes de que el recipiente sea embutido completamente en la apertura de planchado. Esto puede producir una fase gruesa y una pared delgada con un borde grueso justo donde se requiere resistencia para reducir daños accidentales. Un ángulo apropiado de la matriz es generalmente entre 10 y 15 grados, pero cualquier ángulo que se utilice, la lubricación es de extrema importancia porque las presiones involucradas son muy altas. La máxima reducción en el espesor de la pared por planchado, nunca debe exceder del 50%.

En operaciones adicionales subsiguientes al embutido, es algunas veces útil poder formar una prominencia en los lados de las paredes del recipiente embutido (Fig. 64).

Esta protuberancia puede hacerse fácilmente con el uso de una almohadilla o aro de hule, que se comprime dentro del recipiente al tiempo

que el punzón deja una cavidad, de tal forma que el metal desplazado por el hule tomará la forma deseada.

Como se explicó anteriormente, para obtener recipientes de embutido profundo, es usual empezar con una placa recocida. Esto significa - que el artículo final tendrá paredes laterales de comparativamente altas propiedades, debido al trabajo en frío realizado a que han estado sujetos, pero la base del recipiente que no recibe tal trabajo, permanecerá en la condición de recocido. Esta desventaja puede superarse con el uso de material diferencialmente recocido. Estos materiales se producen en la condición dura, después de la cual, la parte exterior que será embutida, es recocida. La operación de embutido endurece por trabajo el borde-recocido, teniendo como resultado que el artículo terminado consistirá - totalmente de material endurecido. La otra ventaja que resulta algunas veces es la eliminación de re-embutido en un trabajo que normalmente requiere tal operación. Se ha encontrado que la máxima reducción del diámetro con material diferencialmente recocido, puede alcanzar cerca del 60%, o una capa con una altura de 1-1/3 del diámetro, comparado con el límite normal de alrededor de 50%, o altura de copa de 3/4 de diámetro.- Este tipo de material puede obtenerse como un círculo o con forma para la producción de recipientes rectangulares.

5.16 LUBRICANTES

Una eficiente lubricación durante las operaciones de prensado es esencial, de otra manera, las matrices se deterioran o (descascaran) el metal cuando éste se mueve sobre su superficie. Una lubricación inadecuada puede producir la fractura del artículo que se trabaja, debido a la fricción en el área de flujo, causando un excesivamente alto esfuerzo de ten

sión en el área embutida. Aún en los casos donde la lubricación es del tipo correcto, pero si se aplica en forma irregular hay una probabilidad de que el flujo del metal no sea uniforme, lo cual puede también causar fallas en el trabajo realizado. Un sólo lubricante para todas las operaciones es una mala política, porque las diferentes aleaciones, calibres y rigurosidades de embutido pueden hacer de un lubricante sea mejor para un trabajo particular, que para otro. En general los requerimientos son:

- 1.- Alta resistencia de película para prevenir el contacto del metal con metal.
- 2.- Coeficiente medio de fricción para evitar que el movimiento de metal sea muy fácil de entre el sujetador y la superficie de la matriz dentro de la matriz.
- 3.- Buen "expansible" y de fácil aplicación, a ésto, se pueda agregar -- propiedades no tóxicas y que esté libre de olores. Para trabajo rudo con altas presiones involucradas, un lubricante que deposite una película de cera o un aceite que contenga grafito coloidal o disulfuro de milibdeno es mejor, mientras que para embutidos y trabajos de presión ligeros, una ligera película de aceite adhesivo será más que suficiente.

JUEGO DE PUNZON Y MATRIZ NORMALIZADOS

ESPAISOR DEL MATERIAL	ACERO SUAVE	ACERO SEMI DURO	ACERO DURO	ACERO INDEFORMABLE	BRONCE FUNDIDO	LATON	COBRE	ALUMINIO
0,010	0,0025	0,0036	0,0047	0,0058	0,0066	0,0055	0,0035	0,0021
0,020	0,0011	0,0012	0,0014	0,0016	0,0012	0,001	0,0005	0,0002
0,050	0,0017	0,0018	0,0021	0,0024	0,0016	0,0015	0,0014	0,0008
0,060	0,0023	0,0025	0,0028	0,0032	0,0025	0,002	0,0015	0,0009
0,080	0,0029	0,0031	0,0035	0,004	0,0031	0,0025	0,0023	0,0013
0,090	0,0035	0,0037	0,0043	0,0048	0,0037	0,0035	0,0028	0,0015
0,070	0,0041	0,0043	0,005	0,0056	0,0043	0,0035	0,0028	0,0017
0,085	0,0047	0,005	0,0057	0,0064	0,005	0,004	0,0038	0,002
0,090	0,0052	0,0056	0,0064	0,0072	0,0056	0,0045	0,0042	0,0025
0,100	0,0058	0,0062	0,0071	0,008	0,0062	0,005	0,0047	0,010
0,110	0,006	0,0069	0,0078	0,0088	0,0065	0,0055	0,0052	0,011
0,120	0,007	0,0075	0,0085	0,0096	0,0075	0,006	0,0057	0,012
0,130	0,0076	0,0081	0,0093	0,0104	0,0081	0,0065	0,0062	0,013
0,140	0,0082	0,0087	0,010	0,0112	0,0087	0,007	0,0065	0,0135
0,150	0,0088	0,0093	0,0107	0,012	0,0093	0,0075	0,0071	0,0137
0,160	0,0094	0,010	0,0114	0,0128	0,010	0,008	0,0076	0,014
0,170	0,010	0,0106	0,0121	0,0136	0,0106	0,0085	0,008	0,0142
0,180	0,0105	0,0112	0,0123	0,0144	0,0112	0,009	0,0085	0,0145
0,190	0,0111	0,0118	0,0135	0,0152	0,0118	0,0095	0,009	0,0147
0,200	0,0117	0,0125	0,0142	0,016	0,0125	0,010	0,0095	0,015
0,210	0,0123	0,0131	0,015	0,0168	0,0131	0,0105	0,010	0,0152
0,220	0,0129	0,0137	0,0157	0,0176	0,0137	0,011	0,0104	0,0155
0,230	0,0135	0,0143	0,0164	0,0184	0,0143	0,0115	0,0109	0,0157
0,240	0,0141	0,015	0,0171	0,0192	0,015	0,012	0,0114	0,016
0,250	0,0147	0,0156	0,0178	0,020	0,0156	0,0125	0,0119	0,0162

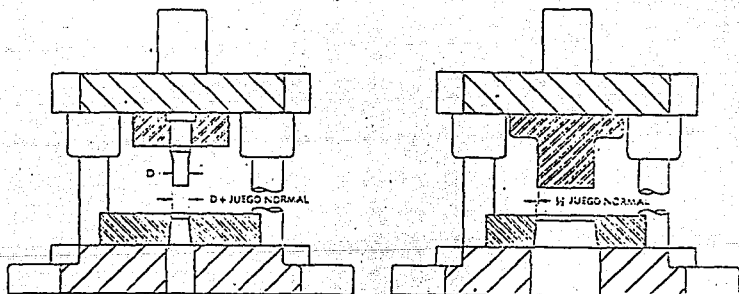


TABLA 27.- De holguras entre punzón y matriz para distintos materiales y dibujo que indica como deben de aplicarse las holguras.

CONCLUSIONES

El objetivo del presente trabajo ha sido el proporcionar al lector, los conocimientos técnicos necesarios para que de acuerdo al envase a fabricar se seleccione el material y método de fabricación que optimicen los costos y el tiempo de fabricación de acuerdo con los recursos disponibles.

Los principales procesos de fabricación de latas que existen actualmente son:

- a) El método tradicional de tres piezas
- b) El más moderno y automatizado de dos piezas

El material más utilizado en la fabricación de latas de 3 piezas es la hojalata debido a sus propiedades físicas así como su bajo costo.

Un nuevo material que se ha desarrollado es el Tin Free Steel (acero sin estaño), con el cual se pretende sustituir a la hojalata, debido al alto costo del recubrimiento de estaño, sin embargo actualmente se siguen realizando mejoras en la calidad de dicho material.

El aluminio se utiliza principalmente para producir latas de dos piezas, dada su excelente características para ser embutido en frío.

Por lo que respecta a las ventajas del proceso de dos piezas en comparación con el de tres, podemos citar lo siguiente: El material se aprovecha más adecuadamente, se utiliza menos personal, para la misma capacidad, esto se debe en parte al tipo de maquinaria empleada; puesto que es más automatizada que la usada en el proceso tradicional; la producción se hace en línea, desde el corte de la materia prima, hasta la obtención de la lata terminada, la litografía se puede aplicar después del formado

del cuerpo, cosa que no es posible en el método convencional.

De los puntos que se trataron en el presente estudio, el primero describe los métodos existentes de fabricación de envases. De tales métodos, el más utilizado en el país es el de formación de costura lateral para lograr el envase de 3 piezas, y en cierta medida se está utilizando el método de DEI (embutido y planchado), para lograr el envase de dos piezas.

En nuestro particular punto de vista, creemos de acuerdo a la situación actual y perspectivas futuras en la industria de las latas, se debe poner un poco más de atención a la fabricación de latas de dos piezas por cualquiera de los dos métodos existentes DRD (embutido y reembutido) - y DEI (embutido y planchado), aunque no se puede pensar que este método pueda desplazar al de tres piezas, dado que los dos poseen sus ventajas - dependiendo de la aplicación final.

Por tal razón se puso énfasis especial en la descripción de los métodos de fabricación de latas de dos piezas.

En los últimos años se ha tenido un constante desarrollo en las técnicas para la fabricación de latas de dos piezas, se han logrado grandes velocidades de producción, una seguridad muy grande contra fugas debido a la ausencia de costura en el cuerpo de la lata y el fondo de la misma, un aspecto importante, es el acabado de la lata, que representa un factor básico en la comercialización del producto a ser envasado.

La elección del proceso de fabricación del cuerpo de la lata está fundamentado básicamente en el tipo que se quiere fabricar, ya que del proceso DEI se limitan a latas circulares solamente, pero tienen la ventaja de ser muy ligeras con óptimo aprovechamiento del material, estando limitadas al empleo de aluminio y hojalata como materia prima.

Consecuentemente aparece con ligera ventaja el método DGI, por el cual se pueden fabricar latas circulares, ovaladas, cuadradas o bien, con cierta conicidad. Adicionalmente, el Método tiene la ventaja de utilizarse indistintamente en aluminio, hojalata, TFS ó lámina negra la—
queada como material para el cuerpo de la lata.

Ante el panorama mostrado anteriormente, se pensará que las la—
tas de tres piezas han quedado rezagadas; Más sin embargo el mismo desarro—
llo ha propiciado mayor atención en la propia evolución de la tecnología —
de las latas de tres piezas, que aunque no han tenido cambios radicales en
el proceso, si se han mejorado algunas etapas del mismo.

Podemos citar por ejemplo la variedad de aleaciones de soldadura
utilizadas dependiendo del producto ha envasar, que pueden contener: esta—
ño, plomo o antimonio en varias proporciones. Para productos muy corrosi—
vos se utiliza el estaño puro, y para otros productos que no requieran de
tal cuidado, se emplea comunmente una aleación de 97.5% de plomo y 2.50 de
estaño.

Adicionalmente se han desarrollado otros dos métodos de forma—
ción de costura, el método del electrodo de cobre que proporciona una muy
buena apariencia, y el de costura cementada que utiliza adhesivos de nylon
para realizarla, siendo apropiado para latas que se emplean en bebidas;—
no siendo recomendable para alimentos procesados.

La gran desventaja para latas de tres piezas es el riesgo de fu—
gas en la base y costura del cuerpo, lo cual no sucede en latas de dos pie—
zas, así mismo el peligro de contacto del producto envasado con la soldadu—
ra de la costura, que aún con el recubrimiento, el peligro persiste.

De la misma forma, las grandes ventajas que ofrece la lata de —
tres piezas, es su gran variedad de aplicaciones determinadas por los —

distintos tipos de recubrimiento que se utilizan, además el rango ilimitado de tamaños de latas que se pueden fabricar a bajo costo.

Sin embargo es necesario volver la vista al futuro y aquilatar las ventajas que nos ofrece la lata de dos piezas.

A continuación analizaremos los materiales utilizados para la fabricación de latas, empezando en primer término con el aluminio.

El aluminio como se vió en el capítulo correspondiente, es muy ligero, de un acabado bastante bueno, con gran resistencia a la corrosión, así como su facilidad de trabajarse en frío.

En nuestro país actualmente se fabrican latas de dos piezas con aluminio como materia prima, sin embargo uno de los factores adversos es la importación de este material, aproximadamente en un 40% la demanda nacional, no cubre las necesidades existentes. Este problema surge por la falta de yacimientos de bauxita que es el óxido de aluminio sin refinación, aunque cabe mencionar que sí los hay de alunites y gibsitas en buena proporción.

Otras de las restricciones es la baja producción aunada a la orientación a otras aplicaciones, ya que la fabricación de lámina es de alta especialización, y para hacer productos en el país, se requieren equipos muy costosos, y por tanto se debería tener una demanda de volúmenes muy grandes para justificar la inversión lo cual actualmente no sucede.

Con el fin de ilustrar lo anterior mencionaremos que en 1972 se fundó en México el Instituto del Aluminio, S.A., que actualmente agrupa a 20 miembros de mayor importancia. En la tabla 28 se describe a cada miembro mencionando la gama de aplicaciones que ofrecen con el aluminio, donde se observa claramente que la fabricación de lámina es muy pobre.

INSTITUTO DEL ALUMINIO. S.A.

Compañía	Actividad
Alcon Aluminio, S.A.	Lámina Extrusión Papel Polvo
Alcomex, S.A. de C.V.	Extrusión Lámina
Alumex, S.A. de C.V.	Extrusión
Aluminio Extruido y Manufacturas	Extrusión
Aluminio, S.A. de C.V.	Aluminio primario Lingote
Ames-Tinsu, S.A.	Sistemas de rleon
AMFACF. AC.	Asociación Mexicana de fabricantes de Conductores Eléctricos (cables de Aluminio)
ANMPAC	Asociación Nacional de Manufactu- reros de Productos de Aluminio pa- ra la Construcción.
Compañía Nacional de Extrusiones	Extrusión
Consorcio Industrial Volca, S.A.	Extrusión
Cuprum, S.A.	Extrusión
Ekco, S.A.	Artículos Domésticos
Estaño y sus Derivados, S.A.	Lingote para fundición de 2a fusión
Industrias La Vasconia, S.A.	Artículos Domésticos
Metalformas, S.A.	Artículos Domésticos
Motores y Refacciones, S.A.	Productos Para la Industria Auto- motriz.
Reynolds Aluminio, S.A.	Lámina Papel Extrusión
Traqueles y Matrices, S.A.	Productos para la Industria Au- tomotriz.
Zinc Industrial, S.A.	Lingote para fundición de 2a fusión

Tabla 28.

Otro material que se aplica en la fabricación de envases, en menor escala que en el futuro alcanzará mayores proporciones, es el acero bañado con recubrimiento de cromo y una película de óxido denominado Tin Free Steel (acero libre de estaño).

Probablemente el factor más importante para que este material no pueda tener preferencia sobre la hojalata, es el alto costo del estaño, - ya que desde hace varios años se está investigando para encontrar un sustituto; por otra parte, el equipo de proceso de fabricación es menos costoso que el de la hojalata, además para su obtención se puede utilizar las mismas instalaciones.

Desde luego este material tiene algunas ventajas y desventajas con respecto a la hojalata pero se ha analizado el problema de la falta de mano de obra especializada en esta industria y se llegó a la conclusión que la posible solución en este renglón será la capacitación de personal mediante estudios y entrenamientos en otros países que sí cuentan con los recursos suficientes para el desarrollo de la tecnología apropiada que se aplica en tal industria, esto aunque aparentemente es costoso, a largo plazo sí se justifica ya que con las nuevas técnicas y métodos de producción, se puede lograr en gran parte la independencia económica.

Generalmente, en cualquier empresa, con falta de técnicas especializadas, se presenta el problema de lograr todos los objetivos que se plantean al iniciar un determinado programa de producción, a consecuencia de que ocurren desperfectos o fallas en las máquinas, la mayoría de las veces se tiene que recurrir a técnicos de otros países lo cual es costoso y tardado, este evitaría teniendo la gente suficiente capacitada en la propia planta.

Por lo que respecta a la hojalata, tenemos que en la industria

Internacional de fabricación de la misma, se consumen anualmente unos 13 millones de toneladas métricas de acero, y 80,000 toneladas métricas de Estaño. Esto representa no solamente el mayor uso individual del Estaño, sino también una proporción significativa de la producción de la industria del acero, sólo en función del tonelaje, la producción se ha duplicado prácticamente durante los últimos 20 años y las perspectivas indican que continuará aumentando, contribuyendo a ello los nuevos desarrollos alcanzados en tratamientos del fleje de acero y las modernas técnicas de producción de latas.

Aun cuando la producción de hojalata se efectúa principalmente en los países desarrollados, un gran número de países en vías de desarrollo se podría beneficiar de su propia hojalata, siempre que una menor capacidad de producción, suficiente para satisfacer sus necesidades inmediatas, económicamente factibles. En muchas partes del mundo existe la necesidad de conservar los propios recursos para tal fin.

En México, la hojalata ha sido el material tradicional en la fabricación de latas, y actualmente cubre el 90% del consumo nacional.

Su fabricación es adecuada en cuanto a cantidad ya que en lo que respecta al acero que es la base para su fabricación, se produce un volumen aceptable.

La dificultad se presenta sobre todo en la calidad. La situación se crea porque no hay una clara competencia entre los proveedores de hojalata por mejorar el producto, y por tanto el fabricante de latas tiene que aceptar lo que se encuentra en el mercado.

Considerando lo anterior y tomando en cuenta las nuevas técnicas para obtener una hojalata de mejor calidad, y sobre todo con características definidas para cada aplicación, con el proceso del estañado, la amplia gama de recubrimientos disponibles, los resultados serán buenos.

Así logrando una buena calidad en la hojalata, puede ser factible utilizar cualquier método de fabricación de envases, con la cual se obtendría un material versátil y posiblemente más económico y competitivo a nivel internacional.

Finalmente en resumen tenemos que: Los envases se deben evaluar en función de su reciclabilidad, fiabilidad, consumo de energía, niveles de contaminación relacionados con el proceso de fabricación, así como la disponibilidad y precio de las materias primas.

El método de fabricación de envases, que se recomienda, es el de dos piezas por medio de embutido y re-embutido ya que se pueden utilizar como materias primas, el aluminio, la hojalata y el Tin Free Steel. además se fabrican latas de diferente geometría, tales como las circulares, cuadradas, rectangulares, ovaladas, etc., mientras que en el caso de tino embutido y planchado, solamente se obtienen formas circulares, utilizando como materia prima el aluminio y la hojalata exclusivamente, ya que en este proceso, no se puede emplear TFS debido a la falta de fluencia del recubrimiento en la operación de planchado, tal como se mencionó en el capítulo correspondiente.

BIBLIOGRAFIA

No.	TITULO	AUTOR
1	Alcoa Aluminum Hand, Book	Aluminum Company of American
2	Aplicaciones del Aluminio en la Industria Química y Alimenticia	P. Juniara M. Sigault E. Urmo
3	7 TH, Biennial Congress of the International Deep Drawing, Research Group 72	CH. Schneider M. Sodiek
4	Enciclopedia del Aluminio	Ing. Del Grupo Pechiney
5	L' Aluminim	Berrand, Pierre - M.
6	Manual de Materiales	Brady
7	Manual del Ing. Mecánico	Merks V. 1
8	Metalurgia Especial	E. Urmo
9	Metal Hand Book V-8 Metallography Structures And Phase Diagrams	
10	Sheet Metal Industries 1962, 1976, 1977, 1978.	H. Hixman P.B. Mellor, School of Mecha Nical Engineering, University Of Bradford
11	Physical Metallurgy For Engineers	
12	Propiedades Mecánicas de Metales y Aleaciones	Dr. Adolfo Grinberg
13	"Cup Prawing" Werkstatats Technick And Maschienbau, 1966	E. Siebel W. Rankin
14	National Steel Research	Weirton, W. VA.

No.	TITULO	AUTOR
15	Tin International, August, 1975	
16	"Die Grundlagen Des Waterschalang Tieplehns Rotations Symetrischer Tiele; Dissertation, tu Berlin, 1969.	W. Mohrlin